



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL**

**“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS EN EL SISTEMA HORMI2 DE  
BORDILLOS DE HORMIGÓN CON NÚCLEO DE POLIESTIRENO”**

**AUTORES:**

**CARPIO AMANCHA JEREMY ANDRÉS**

**PUERTAS ZAMBRANO LEONARDO JOSÉ**

**DIRECTOR: ING. WILSON CANDO TIPAN**

**QUITO, 2018**

## Dedicatoria Jeremy

## Dedicatoria Leo

## Agradecimientos

## Tabla de Contenidos

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	ANTECEDENTES .....	1
1.2	JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3	OBJETIVOS .....	3
1.3.1	<i>Objetivo General.....</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos Específicos .....</i>	3
1.4	ALCANCE .....	3
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS BORDILLOS .....	5
2.1.1	<i>Componentes.....</i>	5
2.1.2	<i>Clasificación.....</i>	6
2.2	NORMATIVA ESTABLECIDA PARA BORDILLOS DE HORMIGÓN.....	8
2.2.1	<i>NEVI 12.....</i>	8
2.2.2	<i>EN 1340 .....</i>	8
2.2.3	<i>Comentarios a la Norma Española UNE 127025 .....</i>	9
2.2.4	<i>MTOP.....</i>	11
2.2.5	<i>Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3132 .....</i>	12
2.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA HORMI2.....	16
2.3.1	<i>Elementos del Sistema Hormi2.....</i>	16
2.3.2	<i>Principales características y ventajas del sistema Hormi2 .....</i>	19
2.3.3	<i>Tipos de paneles de poliestireno .....</i>	19
2.3.4	<i>Tipos de mallas de refuerzo.....</i>	20
2.3.5	<i>Especificaciones técnicas de los componentes del sistema constructivo Hormi2. ....</i>	21
<b>3</b>	<b>DISEÑO DEL BORDILLO.....</b>	<b>22</b>
3.1	PREDISEÑO.....	22
3.1.1	<i>Precio unitario de los componentes .....</i>	22
3.1.2	<i>Predimensionamiento .....</i>	23
3.1.3	<i>Consideraciones Ergonómicas .....</i>	24
3.2	DISEÑO A FLEXIÓN .....	27
3.2.1	<i>Análisis del bordillo a flexión.....</i>	27
3.2.2	<i>Resultados del análisis a flexión .....</i>	32
3.3	SELECCIÓN DE ARENA OPTIMA .....	36
3.3.1	<i>Ensayos del agregado fino .....</i>	37
3.3.2	<i>Selección del material para las dosificaciones .....</i>	65
3.4	CÁLCULO DE DOSIFICACIONES .....	65
3.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	67
3.5.1	<i>Pruebas realizadas en la PUCE .....</i>	67
3.5.2	<i>Determinación de la dosificación a utilizarse .....</i>	69
3.5.3	<i>Pruebas realizadas en HOLCIM ECUADOR S.A. ....</i>	71
<b>4</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, ENSAYOS Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>73</b>
4.1	COSTOS DE MATERIALES .....	73
4.1.1	<i>Encofrado .....</i>	73
4.1.2	<i>Mortero .....</i>	77
4.1.3	<i>Núcleo de Poliestireno.....</i>	78
4.2	INVENTARIO DE BORDILLOS .....	79
4.3	COSTO DE FABRICACIÓN .....	80
4.3.1	<i>Encofrado de bordillo .....</i>	80
4.3.2	<i>Plancha de poliestireno .....</i>	83

4.3.3	Mortero .....	85
4.3.4	Resumen de presupuestos de fabricación .....	86
4.4	COSTO TOTAL Y PROCESO DE INSTALACIÓN .....	86
4.4.1	Replanteo y nivelación .....	87
4.4.2	Excavación manual.....	87
4.4.3	Bordillo convencional, transporte e instalación. ....	88
4.4.4	Bordillo Hormi2, transporte e instalación .....	89
4.4.5	Colocación de mortero en junta .....	89
4.4.6	Resumen de presupuestos de instalación.....	90
4.5	ENSAYOS Y PRUEBAS DE RESISTENCIA AL PROTOTIPO. ....	92
4.5.1	Resistencia climática por absorción total de agua.....	93
4.5.2	Resistencia al desgaste por abrasión mediante el ensayo de la rueda ancha.....	95
4.5.3	Resistencia al resbalamiento o deslizamiento sin pulir (USRV) .....	100
4.5.4	Probeta a flexión .....	105
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	113
5.1	RENDIMIENTOS .....	113
5.1.1	Rendimientos en la elaboración de los bordillos .....	113
5.1.2	Rendimientos en la instalación de los bordillos.....	113
5.2	COSTOS DE FABRICACIÓN DE AMBOS SISTEMAS .....	114
5.3	COSTOS DE INSTALACIÓN DE AMBOS SISTEMAS .....	115
5.4	FLEXIÓN.....	117
5.5	TRANSPORTE .....	119
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	120

## Índice de Tablas

Tabla 1: Límites granulométricos para agregado fino de morteros fluidos .....	6
Tabla 2: Resistencia mínima a flexión según ABENOR .....	9
Tabla 3: Carga mínima de rotura para longitudes de 1 metro .....	10
Tabla 4: Resistencia a la abrasión requerida para su uso previsto .....	10
Tabla 5: Tolerancia respecto a las dimensiones .....	14
Tabla 6: Tolerancia respecto a la planitud y rectitud .....	14
Tabla 7: Resistencia mínima a flexión según INEN .....	14
Tabla 8: Tipos y características del panel .....	19
Tabla 9: Especificaciones Técnicas de los Componentes .....	21
Tabla 10: Costos de los paneles comerciales de Hormi2 .....	23
Tabla 11: Características Generales de Bordillos .....	24
Tabla 12: Peso recomendado de las cargas en condiciones ideales de levantamiento .....	25
Tabla 13: Propiedades de los Prototipos .....	26
Tabla 14: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 180 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 3 cm .....	27
Tabla 15: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 210 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 3 cm .....	33
Tabla 16: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 180 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm .....	34
Tabla 17: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 210 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm .....	35
Tabla 18: Nomenclatura de los diferentes tipos de bordillos .....	36
Tabla 19: Procedencia de los Materiales .....	37
Tabla 20: Límites granulométricos para agregado fino en mortero. ....	39
Tabla 21: Requisitos del material para el uso en mortero .....	65
Tabla 22: Dosificación de morteros PUCE. ....	66
Tabla 23: Dosificación PUCE relativa al cemento. ....	66
Tabla 24: Resistencia a la compresión de mortero a los 7 días, PUCE. ....	67
Tabla 25: Resistencia a la compresión de mortero a los 14 días, PUCE. ....	68
Tabla 26: Resistencia a la compresión de mortero a los 28 días, PUCE. ....	68
Tabla 27: Tabla de resumen de resistencia a la compresión, PUCE. ....	68
Tabla 28: Dosificación de mortero HOLCIM por metro cúbico. ....	70
Tabla 29: Dosificación de mortero HOLCIM relativa al cemento. ....	70
Tabla 30: Resistencia a la compresión de mortero a los 7 días, HOLCIM. ....	71
Tabla 31: Resistencia a la compresión de mortero a los 14 días, HOLCIM. ....	71
Tabla 32: Resistencia a la compresión de mortero a los 28 días, HOLCIM. ....	71
Tabla 33: Tabla de resumen de resistencia a la compresión, HOLCIM. ....	72
Tabla 34: Análisis de costos del material de encofrado. ....	76
Tabla 35: Análisis del costo de materiales con la alternativa de polietileno. ....	77
Tabla 36: Dosificación del mortero de los bordillos. ....	77
Tabla 37: Costo por metro cúbico de mortero. ....	78
Tabla 38: Costo de núcleo de poliestireno por metro de bordillo. ....	79
Tabla 39: Inventario de los bordillos Hormi2. ....	79
Tabla 40: Peso de los bordillos Hormi2 construidos. ....	79
Tabla 41: APU del encofrado convencional .....	81
Tabla 42: Memoria de cálculo del encofrado con plástico de polietileno. ....	82
Tabla 43: Costo unitario de encofrado con plástico de polietileno. ....	82
Tabla 44: APU del encofrado con plástico de polietileno. ....	83
Tabla 45: APU núcleo de polietileno. ....	84
Tabla 46: APU mortero $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ . ....	85

Tabla 47: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm).....	86
Tabla 48: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm).....	86
Tabla 49: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).....	86
Tabla 50: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).....	86
Tabla 51: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm). ....	91
Tabla 52: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm).....	91
Tabla 53: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).....	91
Tabla 54: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).....	91
Tabla 55: Número de probetas requeridas por ensayo, INEN 3132. ....	92
Tabla 56: Número de probetas ensayadas.....	92
Tabla 57: Valor de resistencia a la abrasión para bordillos $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
Tabla 58: Valor de resistencia a la abrasión para bordillos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	99
Tabla 59: Cumplimiento de resistencia a la abrasión de bordillos $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .....	100
Tabla 60: Cumplimiento de resistencia a la abrasión de bordillos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	100
Tabla 61: Medición de los valores de resistencia al resbalamiento para $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .....	104
Tabla 62: Medición de los valores de resistencia al resbalamiento para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	104
Tabla 63: Resistencia a la flexión 210R4.....	109
Tabla 64: Resistencia a la flexión 180R4.....	109
Tabla 65: Resistencia a la flexión 210R3.....	110
Tabla 66: Resistencia a la flexión 180R3.....	111
Tabla 67: Resistencia a la flexión ensayada según normativa .....	111
Tabla 68: Rendimiento de cada rubro en la elaboración de bordillos .....	113
Tabla 69: Rendimiento de cada rubro en la instalación de bordillos.....	113
Tabla 70: Costo de fabricación por unidad de bordillo .....	114
Tabla 71: Cotizaciones por unidad de bordillo (15*30*100) .....	115
Tabla 72: Costo unitario de bordillos Hormi2 .....	116
Tabla 73: Costo unitario de bordillos convencionales .....	116
Tabla 74: Esfuerzo último teórico de los bordillos .....	118
Tabla 75: Valores de resistencia teórica vs real .....	118
Tabla 76: Características de camión con plataforma tipo.....	119
Tabla 77: Determinación de la capacidad volumétrica y de carga máxima .....	119
Tabla 78: Costo de transporte referencial de bordillos.....	119



## Índice de Imágenes

Imagen 1: Esquema de encastre .....	13
Imagen 2: Bordillos curvos .....	13
Imagen 3: Plancha rectangular de poliestireno .....	17
Imagen 4: Malla electrosoldada .....	18
Imagen 5: Mortero en estado fresco .....	18
Imagen 6: Tipos de Mallas.....	20
Imagen 7: Selección de material fino .....	36
Imagen 8: Cuarteo manual de las muestras.....	38
Imagen 9: Secado del material para el cálculo de humedad .....	38
Imagen 10: Tamizado del material, laboratorio PUCE. ....	40
Imagen 11: Lavado del material a través del tamiz N°200.....	41
Imagen 12: Obtención de la condición (SSS).....	41
Imagen 13: Determinación del peso unitario suelto y compactado. ....	42
Imagen 14: Contenido orgánico. ....	42
Imagen 15: Material secado al horno, laboratorio PUCE.....	49
Imagen 16: Ensayo a la compresión de mortero PUCE.....	67
Imagen 17: Ensayo de compresión a mortero, PUCE.....	69
Imagen 18: Ensayo de compresión a mortero, HOLCIM. ....	72
Imagen 19: Encofrado de madera con 5 moldes para bordillos. ....	73
Imagen 20: Encofrado con plástico de polietileno.....	76
Imagen 21: Dosificación del mortero en el laboratorio de hormigones PUCE. ....	78
Imagen 22: Encofrado utilizado en los laboratorios de HOLCIM. ....	80
Imagen 23: Proceso de replanteo. ....	87
Imagen 24: Excavación y desalojo de material. ....	88
Imagen 25: Transporte y colocación de los bordillos convencionales. ....	88
Imagen 26: Transporte y colocación de los bordillos de hormi2. ....	89
Imagen 27: Mortero en junta.....	90
Imagen 28: Bordillos culminada su instalación. ....	90
Imagen 29: Esquema de la máquina de la rueda ancha.....	96
Imagen 30: Probeta ensayada por resistencia a la abrasión.....	97
Imagen 31: Esquema del flujo de material abrasivo, rueda ancha y probeta a ensayar. ....	98
Imagen 32: Medición de la huella en probeta. ....	99
Imagen 33: Esquema del péndulo de fricción .....	101
Imagen 34: Calibre de longitud de deslizamiento.....	102
Imagen 35: Calibración de la altura del eje de suspensión.....	103
Imagen 36: Ensayo al resbalamiento .....	105
Imagen 37: Colocación de los apoyos para el ensayo a flexión .....	106
Imagen 38: Bordillo y falla ante la carga de rotura .....	107
Imagen 39: Ensayo a flexión del bordillo, HOLCIM .....	107
Imagen 40: Imperfecciones en la posición del núcleo de poliestireno .....	112

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema del Prototipo de 3 centímetros de recubrimiento y $f'c$ 180 kg/cm <sup>2</sup> .....	26
Ilustración 2: Gráfico ilustrativo del cálculo de momento de áreas .....	29
Ilustración 3: Gráfico ilustrativo para el cálculo de la inercia .....	30
Ilustración 4: Esquema de bordillo de 210 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 3 cm. ....	33
Ilustración 5: Esquema del bordillo de 180 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm. ....	34
Ilustración 6: Esquema del bordillo de 210 kg/cm <sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm. ....	35
Ilustración 7: Tabla de encofrado estándar.....	74
Ilustración 8: Dimensiones de los elementos del encofrado. ....	75
Ilustración 9: Ejemplo del cálculo de desperdicio .....	75

## Índice de Diagramas

Diagrama 1: Curva tipo costo vs volumen de poliestireno .....	22
Diagrama 2: Costo & Peso en función del recubrimiento .....	25
Diagrama 3: Límites granulométricos del agregado fino en mortero.....	39
Diagrama 4: Curva resistencia a la compresión versus relación a/c .....	70
Diagrama 5: Costo de elaboración de los bordillos Hormi2.....	115
Diagrama 6: Comparación de costos Hormi2 vs Convencionales .....	117



# **1 INTRODUCCIÓN**

El continuo desarrollo de nuestra sociedad, además de la imparable búsqueda por mejorar, nos lleva a la innovación de los productos y las técnicas de construcción tradicionales mediante la investigación, cuyos resultados tienen una repercusión significativa en el bienestar y el desarrollo de la comunidad.

Las necesidades y condiciones específicas requeridas en cada proyecto en el ámbito de la construcción radican en la evaluación y análisis de nuevas alternativas de manera científica y objetiva, para garantizar que el producto o procedimiento lleve a una optimización de recursos.

Tradicionalmente en el Ecuador se han usado bordillos de hormigón y no se han dado a conocer diferentes alternativas a esta. El fin de la presente investigación es proveer al constructor una alternativa que se acople a las especificaciones técnicas, mecánicas y económicas del mercado actual.

La intención no es la de reemplazar el sistema tradicional, al contrario, busca ampliar la gama de soluciones constructivas.

## **1.1 Antecedentes**

En la búsqueda de una alternativa constructiva innovadora, surge la idea del sistema hormi2 cuyo fin es el de proveer al constructor una optimización en recursos materiales, de tiempo y mano de obra. El sistema tiene una reducción significativa de impacto ambiental y su implementación en obra es relativamente sencilla.

Emmedue desarrolla la empresa PANECONS en Ecuador junto con la Mutualista Pichincha, cuenta con una planta industrial ubicada en Latacunga, la misma que se encuentra equipada con tecnología de punta, dedicada a la elaboración y distribución del sistema Hormi2. PANECONS se rige por la normativa y licencia de Emmedue, la cual se encuentra vigente en 54 plantas industriales distribuidas en los 5 continentes.

La empresa PANECONS, tiene interés en el siguiente trabajo debido a la falta de análisis previos que evalúen la factibilidad de ingresar este producto en el mercado.

La empresa inaugura la planta de producción en enero del 2005, en la cual hasta el momento se han fabricado alrededor de 1 500 000 m<sup>2</sup> de panelería ante la demanda nacional. Esto fue distribuido en más de 3000 viviendas en proyectos de todo tipo. Desde edificios de oficinas, departamentos, hoteles, conjuntos habitacionales, industrias, comercio, escuelas, etc. Ante la demanda extranjera, la planta ha exportado cerca de 80 000 m<sup>2</sup> de panelería (HORMI2©, 2016).

El sistema hormi2 es utilizado mundialmente y tiene una trayectoria de más de 30 años en mercados exigentes como el americano y el europeo. El sistema consta de varias fases, la primera es la producción y ensamble del panel en planta, luego pasa a obra para ser anclado in situ y proyectado con mortero.

“Emmedue ofrece una gama completa de elementos constructivos: paredes portantes, losas, techos, escaleras, tabiques y cerramientos. De esta forma los edificios se pueden realizar integralmente con nuestro sistema de construcción, permitiendo optimizar las fases del suministro, los tiempos de ejecución y la fuerza de trabajo.” (EMMEDUE, 2012)

A lo largo de los últimos años, el sistema Emmedue ha respaldado su originalidad y su continuo desarrollo por medio de experimentos y pruebas realizadas en varios países además de Italia, en donde varios institutos competentes le han otorgado de homologaciones y certificados. El sistema Emmedue se encuentra certificado por la norma de calidad UNI EN ISO 9001. (EMMEDUE, 2012)

## **1.2 Justificación**

La investigación surge a raíz de la iniciativa de PANECONS, de quien se tiene la colaboración plena para la presente disertación de grado, de diseñar un tipo de bordillo alternativo al que se usa actualmente en la construcción, el bordillo de hormigón. En el siguiente trabajo se recopilará la información necesaria para realizar un análisis en el cual se definirán las principales características del nuevo bordillo de hormi2. Se determinará una dosificación para el bordillo, se realizarán varias probetas y se ensayarán para determinar sus características mecánicas, con el fin de comprobar que cumplen con los requisitos nacionales e internacionales mínimos.

Además, se evaluarán los costos de construcción y se los comparará con los costos de construcción de los bordillos convencionales mediante un análisis de precios unitarios, para

comprobar si es factible su comercialización. En este análisis se contemplarán los costos hasta la etapa de instalación.

El trabajo será una fuente de información confiable mediante la cual se podrá evaluar la factibilidad económica que tienen los bordillos hormi2 para su posterior aplicación en el sector de la construcción.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Comparar costos, rendimientos, resistencia y productividad de los bordillos hormi2 con los bordillos convencionales con la finalidad de evaluar la factibilidad económica de implementarlo en el mercado de la construcción.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información sobre las características de los bordillos convencionales para realizar el análisis de mercado.
- Realizar un análisis de precios unitarios de los bordillos convencionales y hormi2.
- Ensayar las diferentes probetas que se realizarán y comprobar su cumplimiento con la normativa ecuatoriana para bordillos hormi2 y convencionales.
- Analizar los resultados y concluir la factibilidad económica de los bordillos hormi2.

## **1.4 Alcance**

En la presente investigación se busca definir un prototipo de bordillo hormi2, a partir del cual se evaluará la factibilidad del sistema mediante la comparación técnica y económica del bordillo usado de manera tradicional en el medio de la construcción.

El prototipo será definido por las características geométricas, dimensionales, mecánicas, entre otras, del núcleo de poliestireno, la malla de acero y el mortero que lo recubre. La construcción

del prototipo se realizará con el apoyo de personal de HOLCIM y los materiales proporcionados por PANECONS, de acuerdo con el convenio con las empresas.

Para comparar la productividad al momento de construir el bordillo tipo hormi2 con el bordillo convencional, se obtendrán mediante la evaluación en campo, los rendimientos de cada cuadrilla determinada en ambos sistemas constructivos. El análisis de costos será contemplado hasta la etapa de instalación, sin considerar el mantenimiento de este.



## 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Características generales de los bordillos

**Bordillo:** Elementos de forma prismática y de sección transversal condicionada por el uso que se le dará, comprendidos en las obras viales cuya función es la de conducir e interceptar el agua que corre sobre la corona de pavimento, descargándola en el sistema de alcantarillado o desagüe. También se usa como un separador entre superficies sometidas a distintos tipos de tránsito que requieren de una delimitación física. Los bordillos son macizos y pueden ser contruidos en concreto hidráulico, concreto asfáltico o de suelo-cemento. Generalmente van acompañados por rigolas, o piezas complementarias, que sirven en los cambios de altura, forma o dirección como elementos de transición. (INEN, 2017, pág. 1)

#### 2.1.1 Componentes

Los siguientes elementos componen los bordillos de hormigón tradicional:

**2.1.1.1 Cemento:** Material ligante de los distintos componentes del hormigón y mortero, producto de la mezcla de yeso con la molienda calcinada de caliza y arcilla (Clinker), capaz de fraguar y endurecerse al combinarse con agua. Según la Asociación Española de Normalización y Certificación, la clasificación del cemento es:

- Tipo I: Cemento Portland
- Tipo II: Cemento Portland compuesto
- Tipo III: Cemento Portland de horno alto
- Tipo IV: Cemento puzolánico
- Tipo V: Cemento Compuesto

(ABENOR, 2001, págs. 15-16)

**2.1.1.2 Agregados:** Los agregados ocupan el 75% del volumen del hormigón por lo que las propiedades de estos influyen en gran medida en su comportamiento físico y mecánico. Se clasifican en agregado fino (0,07 mm –5 mm) y agregado grueso (mayor a 5 mm).

Es indispensable contar con una buena graduación de los materiales, libre de material orgánico, sales y limos. Si se requiere una mayor resistencia del hormigón se puede trabajar con agregados triturados que presentan una mayor adherencia a la del agregado en estado natural.

El árido fino utilizado en la elaboración del mortero tendrá los siguientes límites para su graduación según lo establecido en la norma ASTM C144, ver Anexo 1:

*Tabla 1: Límites granulométricos para agregado fino de morteros fluidos*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
4.75 mm	100
2.36 mm	95 a 100
1.18 mm	70 a 100
600 µm	40 a 75
300 µm	20 a 40
150 µm	10 a 25
75 µm	0 a 10

Fuente: (ASTM, 2011)

**2.1.1.3 Agua:** No debe contener sustancias disueltas ni en suspensión que puedan alterar el proceso de fraguado y su pH tiene que encontrarse en el rango de 6 a 8. Preferiblemente se tiene que usar agua potable.

**2.1.1.4 Aditivos:** Componentes químicos orgánicos o inorgánicos cuyo objetivo es modificar las propiedades del hormigón en estado fresco o fraguado. Entre los más conocidos y usados en nuestro medio se encuentran los plastificantes, impermeabilizantes, retardantes y acelerantes.

**2.1.1.5 Materiales Adicionales (Sistema Hormi2):** Aparte de los materiales especificados, para nuestra investigación, se utilizarán los paneles simples de hormi2 y malla electrosoldada. Cuyas propiedades se encuentran redactadas en el 2.3.

## **2.1.2 Clasificación**

La Asociación Española de Fabricantes de Bordillos de Hormigón Normalizados (ABENOR, 2001) establece la siguiente clasificación para bordillos prefabricados:

#### *2.1.2.1 Por el tipo de fabricación:*

- Monocapa: Elemento macizo, constituido únicamente por un tipo de hormigón.
- Doble capa: Elemento macizo, constituido por un núcleo de hormigón y cubierto por una capa de mortero.

#### *2.1.2.2 Por su uso:*

- Bordillo peatonal (A): Elemento usado para la delimitación y/o separación de tránsito de diferente naturaleza, ninguno vehicular.
- Bordillo de calzada (C): Elemento usado para la delimitación y/o separación de tránsito de diferente naturaleza, uno de ellos al menos vehicular (acera y calzada).
- Pieza complementaria rígida (R): Elemento usado para encintar la acera y la calzada con la finalidad de facilitar el drenaje superficial.

#### *2.1.2.3 Por su forma:*

- Bordillo recto: Elemento prismático.
- Bordillo de escuadra: Elemento fabricado en un ángulo recto para el acople entre elementos perpendiculares. Puede ser cóncavo o convexo, en función de la arista del chaflán.
- Bordillo curvo: Elemento curvilíneo, fabricado para acoplarse a las curvas de la calzada. Puede ser cóncavo o convexo, en función de la arista del chaflán.

#### *2.1.2.4 Por resistencia:*

- Resistencia igual o mayor a 3,5 MPa (N/mm<sup>2</sup>). Uso peatonal, residencial y comercial
- Resistencia igual o mayor a 5,0 MPa (N/mm<sup>2</sup>). Uso industrial.
- Resistencia igual o mayor a 6,0 MPa (N/mm<sup>2</sup>). Uso en obras especiales.

(ABENOR, 2001)

## **2.2 Normativa establecida para bordillos de hormigón**

### **2.2.1 NEVI 12**

Dentro del trabajo suscrito por la subsecretaría de infraestructura del transporte (MTOP, 2013), se especifican los diferentes ensayos necesarios para asegurar la calidad de los bordillos. Sin embargo, no se detallan límites, métodos de ensayos ni tolerancias por lo que únicamente se extraerán los ensayos o controles requeridos por esta normativa.

- Ensayos de cemento.
- Ensayos de áridos.
- Resistencia a la compresión a los 28 días.
- Resistencia al desgaste.
- Densidad aparente.
- Absorción de agua.
- Caracterización del mortero (húmedo o seco).
- Dimensiones.
- Planeidad de las caras vistas.
- Alabeo de las caras vistas.
- Nivelación general.
- Planeidad.
- Alineación.
- Prueba de carga.
- Ensayo de helacidad.
- Ensayo a flexión.
- Ensayo de carga.
- Ensayo de desgaste.

### **2.2.2 EN 1340**

De acuerdo con la normativa europea, (Comite Europeo de Normalización, 2003). Se especifican los requisitos de los bordillos, los cuales son:

- Resistencia climática.

- Resistencia a la flexión.
- Resistencia al desgaste por abrasión.
- Resistencia al deslizamiento.
- Comportamiento frente al fuego.
- Conductividad térmica.

### 2.2.3 Comentarios a la Norma Española UNE 127025

Según la Asociación Española de Fabricantes de Bordillos de Hormigón Normalizados (ABENOR, 2001), los requisitos que tienen que cumplir los bordillos son los siguientes:

#### 2.1.3.1 Absorción de Agua:

Para este requerimiento se ensayarán 3 piezas tomadas de la muestra, el ensayo será satisfactorio si se cumple lo siguiente:

- El valor del coeficiente de absorción de agua de cada pieza debe ser menor o igual al 6 % en masa.

#### 2.1.3.2 Resistencia a flexión:

Al igual que en el ensayo de absorción de agua, se ensayarán 8 piezas tomadas de la muestra, se deberá cumplir lo siguiente:

- El valor de la resistencia a flexión de cada pieza debe ser mayor o igual al valor indicado en la tabla 1 según su clase.
- El promedio de los valores de resistencia a flexión debe ser mayor o igual al valor indicado en la tabla 1 según su clase.

*Tabla 2: Resistencia mínima a flexión según ABENOR*

Clase	Valor medio (MPa)	Valor unitario (MPa)
R3,5	3,5	2,8
R5	5	4
R6	6	4,8

Fuente: (ABENOR, 2001, pág. 18)

- La carga de rotura, tanto en valor medio como en valor unitario, debe ser igual o mayor al valor indicado en la tabla 2, según su clase.

*Tabla 3: Carga mínima de rotura para longitudes de 1 metro*

Tipo	Clase R3,5		Clase R5		Clase R6	
	Valor medio (KN)	Valor individual (KN)	Valor medio (KN)	Valor individual (KN)	Valor medio (KN)	Valor individual (KN)
A1 20X14	11,14	8,91	15,91	12,73	19,09	15,27
A2 20X10	5,79	4,63	8,28	6,62	9,93	7,94
A3 20X8	3,71	2,97	5,3	4,24	6,36	5,09
A4 20X8	3,43	2,74	4,9	3,92	5,89	4,71
C3 30X22	40,05	32,04	57,21	45,77	68,66	54,93
C3 28X17	21,94	17,55	31,34	25,07	37,61	30,09
C5 25X15	14,96	11,97	21,38	17,1	25,65	20,52
C6 25X12	9,39	7,51	13,42	10,74	16,1	12,88
C7 22X20	22,28	17,82	31,82	25,46	38,19	30,55
C9 13X25	20,59	16,47	29,41	23,53	335,29	28,23

Fuente: (ABENOR, 2001, pág. 18)

### *2.1.3.3 Resistencia al desgaste por abrasión:*

Se comprobará este requerimiento en 3 piezas, en las cuales se debe cumplir que el valor, entregado por el método de ensayo del disco de la siguiente manera para las diferentes condiciones de tráfico:

*Tabla 4: Resistencia a la abrasión requerida para su uso previsto*

Uso Previsto	Anchura máxima de la huella (mm)
Zonas peatonales	28
Zonas de tráfico moderado	23
Zonas de tráfico intenso	18

Fuente: (ABENOR, 2001).

#### 2.1.3.4 Resistencia al deslizamiento (USRV)

Se recomiendan valores de USRV mayores a 35 para superficies exteriores y 40 si tienen cualquier grado de pendiente.

### **2.2.4 MTOP**

Conforme al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2002), los requisitos que tienen que cumplir los bordillos son los siguientes:

#### *2.2.2.1 Cimentación:*

- La superficie donde se colocará el bordillo deberá estar correctamente humedecida y compactada.
- Se requiere de una capa de al menos 15 centímetros por debajo del nivel de cimentación de material granular competente.

#### *2.2.2.2 Encofrado:*

- Las paredes en contacto con el hormigón deben ser lisas y estar debidamente lubricadas.
- La estructura no tiene que presentar deformaciones bajo la acción del hormigón plástico.
- Una vez vertido el hormigón, se tiene que alisar la superficie superior.
- Terminado el desencofrado se tiene que alisar las caras vistas y cortar las aristas correspondientes del chaflado.

#### *2.2.2.3 Curado:*

- No se debe permitir evaporación hasta que se alcance la resistencia requerida.
- Existen varias opciones de curado en la norma, pero se optará por el curado por humedecimiento durante los primeros 4 días de fraguado.
- El agua utilizada en el curado cumplirá con la normativa INEN 1108 o se puede utilizar agua potable.

#### *2.2.2.4 Construcción:*

- Se deben anclar los bordillos con clavijas de hierro empotradas en huecos perforados en la superficie, con masilla 1:1 de cemento y arena, si los bordillos se van a colocar sobre pavimento existente.
- Se requieren juntas de expansión de 6 milímetros cada 18 metros.
- Se requieren juntas de contracción de 2,5 centímetros de profundidad, entre las juntas de expansión cada 6 metros.
- Se requiere un hormigón clase B para el bordillo.

## **2.2.5 Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3132**

Según el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2017), los requisitos que tienen que cumplir los bordillos son los siguientes:

### *2.2.5.1 Generalidades*

- Los bordillos pueden ser fabricados como un solo elemento monolítico de hormigón o puede ser revestido con una capa superficial.
- Para bordillos de capa superficial o doble capa, ésta tendrá un espesor mínimo de 4 milímetros y será considerada como una parte integrante del mismo.
- La proyección de la arista biselada recomendada es de 2 milímetros, pero puede ser mayor.

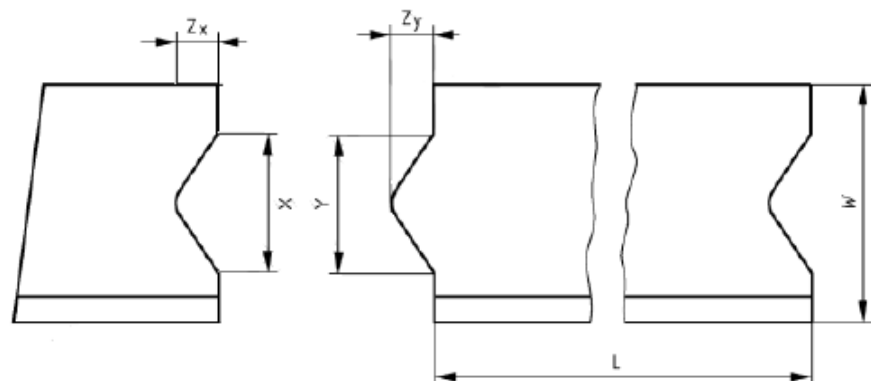
### *2.2.5.2 Forma y dimensiones*

- Máxima altura total (30 centímetros).
- Máximo ancho basal (30 centímetros).
- Máximo peso por unidad (100 kilogramos) para asegurar una relativa seguridad al manipular el elemento.
- Longitud recomendada (1 metro).



- En caso de que el bordillo cumpla funciones de drenaje tipo cuneta, su ancho basal puede extenderse a un máximo de 50 centímetros.
- Los extremos de los bordillos pueden o no, contar con un dispositivo de encastre para facilitar la colocación de este.

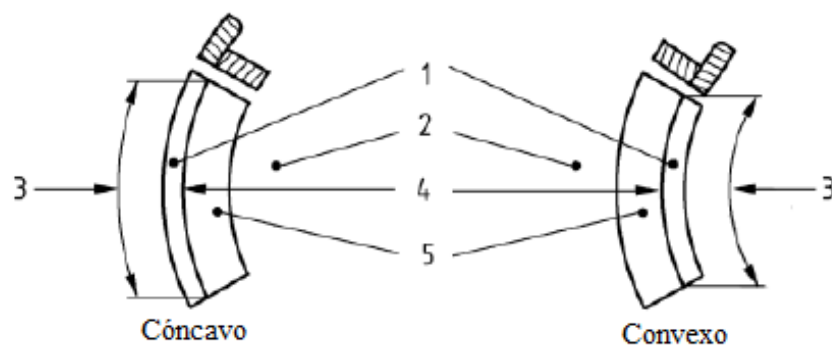
*Imagen 1: Esquema de encastre*



Fuente: (INEN, 2017, pág. 8)

- Para bordillos curvos existe una distinción como cóncavos o convexos, su longitud total sugerida es de 80 centímetros.

*Imagen 2: Bordillos curvos*



Fuente: (INEN, 2017, pág. 9)

- 1 Bordillo.
- 2 Calzada.
- 3 Longitud.
- 4 Radio.
- 5 Rígola.

- Tolerancias admisibles:

*Tabla 5: Tolerancia respecto a las dimensiones*

<b>Dimensión Considerada</b>	<b>Rango (mm)</b>	<b>Porcentaje de Tolerancia</b>
Longitud Total	$\pm (4-10)$	$\pm 1 \%$
Caras Vistas	$\pm (3-5)$	$\pm 3 \%$
Otras Partes	$\pm (3-10)$	$\pm 5 \%$

Fuente: (INEN, 2017, pág. 9)

*Tabla 6: Tolerancia respecto a la planitud y rectitud*

<b>Longitud del dispositivo de medida (mm)</b>	<b>Tolerancia admisible (mm)</b>
300	$\pm 1.5$
400	$\pm 2.0$
500	$\pm 2.5$
800	$\pm 4.0$

Fuente: (INEN, 2017, pág. 9)

### 2.2.5.3 Propiedades físicas y mecánicas

Los bordillos son declarados conformes para el uso por el fabricante, cuando cumplen los siguientes requisitos:

- Resistencia climática por absorción total de agua:  
Debe ser menor o igual a 6%, valor obtenido mediante el ensayo de Determinación del Índice de Absorción Total de Agua, ver Anexo 2.
- Resistencia a la flexión  
Se determina mediante el ensayo Medida de la Resistencia a la Flexión, ver Anexo 2. El valor de la resistencia a flexión debe ser mayor o igual a la descrita en la siguiente tabla, según sea su clase.

*Tabla 7: Resistencia mínima a flexión según INEN*

<b>Tipo de pavimento</b>	<b>Resistencia característica a la flexión (MPa)</b>	<b>Resistencia mínima a la flexión (MPa)</b>
--------------------------	------------------------------------------------------	----------------------------------------------

Uso peatonal, residencial y comercial	3,5	2,8
Uso industrial	5,0	4,0
Obras especiales	6,0	4,8

Fuente: (INEN, 2017, pág. 10)

Los pavimentos se consideran de uso industrial, cuando en éstos circulan 150 o más vehículos pesados por día.

Los bordillos mantendrán su resistencia de diseño durante la vida útil, mientras sea satisfactoria la sección anterior (Resistencia a la flexión), y se realice un mantenimiento normal.

- Resistencia al desgaste por abrasión

Se puede determinar mediante los siguientes ensayos; el ensayo de la rueda ancha, ver Anexo 2, donde la rueda puede crear una huella con una longitud de cuerda máxima de 23 mm, y el ensayo de Böhme Anexo 2, en el cual el valor de resistencia al desgaste debe ser menor o igual a  $20\,000\text{ mm}^3/5\,000\text{ mm}^2$ .

- Resistencia al deslizamiento/resbalamiento

La resistencia al deslizamiento/resbalamiento es satisfactoria en un bordillo cuando la totalidad de su cara vista no ha sido pulida, es decir que no se tiene una superficie completamente lisa.

Se puede determinar el valor de resistencia al deslizamiento por medio del método de ensayo del péndulo de fricción, ver Anexo 2. Cuando el ensayo no se puede realizar debido a las irregularidades presentes en la superficie del bordillo, se considera que el bordillo satisface este requisito sin necesidad de terminar con el ensayo.

- Comportamiento frente al fuego

Los bordillos se consideran como elementos no combustibles, por lo cual no se necesita realizar ensayos para este requerimiento.

- Conductividad térmica

Los bordillos deben cumplir con este requerimiento cuando estén destinados a contribuir con características térmicas a un elemento. En este caso, el fabricante debe comprobar su conductividad térmica por medio de los datos de diseño de la norma EN 13369.

#### *2.2.5.4 Aspectos Visuales*

- La superficie vista del bordillo tiene que estar libre de grietas o fisuraciones.
- No debe existir laminación en el caso de los bordillos de doble capa.
- Si se le da un acabado texturizado al bordillo, este tiene que ser descrito por el fabricante.

Después de una minuciosa comparación entre los requerimientos de cada norma tanto nacional como internacional, se ha definido realizar la presente investigación en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3132 y la normativa española UNE 127025. Considerando que en la normativa INEN se omiten ciertos criterios que se detallan en la normativa española para los parámetros de abrasión y resbalamiento.

### **2.3 Características del Sistema Hormi2**

Hormi2 es un sistema constructivo de hormigón armado, integrado por paneles modulares, dos capas de malla galvanizada electrosoldada unidas mediante conectores de acero galvanizado que se sueldan en ambos extremos formando una estructura cuyo núcleo alberga una placa de poliestireno (EPS expandido).

El módulo de poliestireno y malla es recubierto con capas de mortero de 3 cm de espesor, que puede ser lanzado o vertido, obteniendo un sistema estructural sismo resistente conformado por losas, escaleras y muros portantes.

El sistema al ser modular permite acoplarse a cualquier exigencia arquitectónica, además de que es fácilmente acoplable en otros sistemas estructurales. Es un material ligero y maniobrable lo que brinda ciertas facilidades constructivas (EMMEDUE, 2012).

#### **2.3.1 Elementos del Sistema Hormi2**

##### *2.2.1.1 Poliestireno*

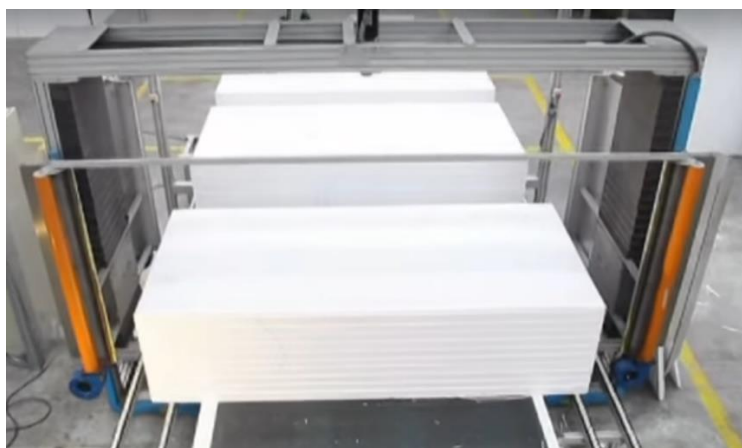
Es un material obtenido del estireno, el cual es un polímero derivado del petróleo clasificable como un plástico celular, cuya materia prima son gránulos de aspecto vidrioso llamados perlas comprimidas, con una densidad aproximada de 600 gr/lt y una granulometría aproximada de 0,3 mm. Esta materia es pre-expandida hasta

alcanzar una densidad de 12 gr/lt. Posteriormente es expuesta a vapor de agua a una presión tal, que cada perla ya expandida forma una micro-celda, éstas se secan al ambiente y son moldeadas bajo establecidos parámetros de presión, temperatura y tiempo que fusionan las celdas hasta tener un material homogéneo (EMMEDUE, 2012).

El poliestireno expandido brinda rigidez al panel, lo cual facilita su instalación y manipulación, además es un aislante térmico y acústico. La transmisión térmica en 10 cm de poliestireno es equivalente a la de un muro de ladrillo de 80 cm.

La presentación de las planchas de poliestireno varía según las características de cada proyecto (comportamiento estructural, aislamiento térmico y acústico). Este material únicamente transmite esfuerzos, no presenta capacidad portante (PANECONS, 2016).

*Imagen 3: Plancha rectangular de poliestireno*



Fuente: (Hormi2, 2013)

#### *2.2.1.2 Acero*

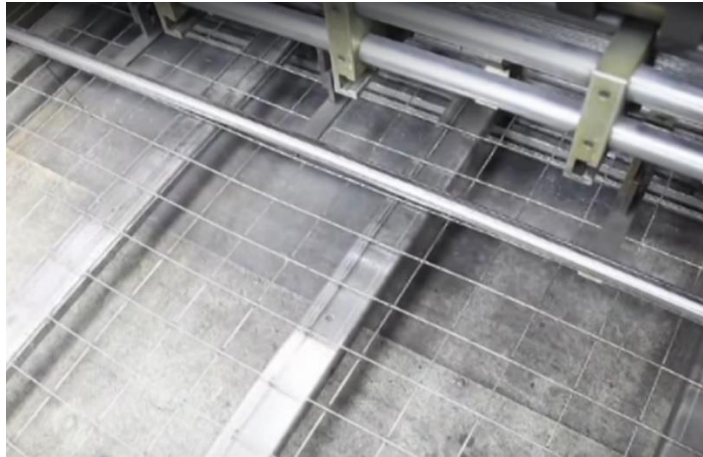
El refuerzo utilizado en el prototipo estará regulado por las siguientes normas y especificaciones:

- Barras corrugadas (NTE INEN 2167).
- Malla de acero o armadura electrosoldada (NTE INEN 2209).
- Alambres corrugados laminados en frío (NTE INEN 1511).

“El acero tiene un límite proporcional de fluencia de 5000 kg/cm<sup>2</sup>, los diámetros varían según el tipo de panel y la dirección considerada. Las mallas

y los conectores son electrosoldados en fábrica, además la malla de acero siempre deberá sobresalir del borde del panel para permitir su solape con el siguiente y de esta forma lograr que el sistema trabaje como una membrana modular.” (Orozco Bolaños & Puente Gallegos, 2016)

*Imagen 4: Malla electrosoldada*



Fuente: (Hormi2, 2013)

#### *2.2.1.3 Mortero*

Se denomina mortero a una mezcla plástica conformada por agregado fino, agua y un material aglomerante, en este caso cemento portland. El mortero de cemento portland obtiene altas resistencias y posee una buena retención de agua. Su dosificación en cuanto a la arena y al cemento portland se realiza según la resistencia que se requiera y la función que cumplirá el mortero. Su dosificación en cuanto al agua dependerá de la trabajabilidad deseada. (González, 2016).

*Imagen 5: Mortero en estado fresco*



Fuente: (ARQHYS, 2017).

### 2.3.2 Principales características y ventajas del sistema Hormi2

- El núcleo de poliestireno es reciclable, funciona como un aislante térmico y acústico, es auto extingible y químicamente inerte con los materiales de construcción.
- El mortero tiene que ser de consistencia fluida.
- La malla de acero electrosoldada será galvanizada y de acero trefilado.
- Ventajas del sistema constructivo:
  - Flexibilidad constructiva.
  - Simple montaje.
  - Ligereza y maniobrabilidad.
  - No se requiere de mano de obra especializada.
  - Empalme monolítico.
  - Componentes ecológicos.
  - Eficiencia energética.

(PANECONS, 2016).

### 2.3.3 Tipos de paneles de poliestireno

El panel se clasifica según la función que cumple en el sistema estructural, variando el diámetro del alambre, el tramado y la resistencia del mortero según se requiera, como se muestra a continuación:

*Tabla 8: Tipos y características del panel*

TIPO	APLICACIÓN	DIÁMETRO DEL ALAMBRE (mm)	TRAMADO (cm)	RESISTENCIA DEL MORTERO REQUERIDA
PSME (Panel Simple Modular Estructural)	Construcción integral de mamposterías	Longitudinal: 2.5 Transversal: 2.5	Longitudinal: 7.5 Transversal: 7.5	180 a 280 kg/cm <sup>2</sup> , según cálculo estructural
PSMC (Panel Simple Modular de Cerramiento)	Aplicaciones en estructuras mixtas Cerramientos	Longitudinal: 2.5 Transversal: 2.5	Longitudinal: 7.5 Transversal: 15.0	180 a 280 kg/cm <sup>2</sup> , según cálculo estructural

PSE (Panel Simple Modular Reforzado)	Losas de cubierta Conformación de gradas	Longitudinal: 3.0 Transversal: 2.5	Longitudinal: 7.5 Transversal: 7.5	180 a 280 kg/cm <sup>2</sup> , según cálculo estructural
PS2R (Panel Simple Modular Doblemente Reforzado)	Losas de entrepiso Conformación de gradas	Longitudinal: 3.0 Transversal: 3.0	Longitudinal: 7.5 Transversal: 7.5	180 a 280 kg/cm <sup>2</sup> , según cálculo estructural

Fuente: (PANECONS, 2016, pág. 4).

### 2.3.4 Tipos de mallas de refuerzo

Se fabrican mediante un alambre de acero galvanizado de alta resistencia de 2.5 o 3 mm de diámetro. Principalmente se usan para el reforzamiento de losas, vanos de puertas y ventanas, uniones o esquinas en ángulo. El sistema requiere una continuidad de la malla de refuerzo para su correcto funcionamiento. En caso de que se requiera refuerzo adicional, este será colocado mediante amarres con grapas o el mismo alambre.

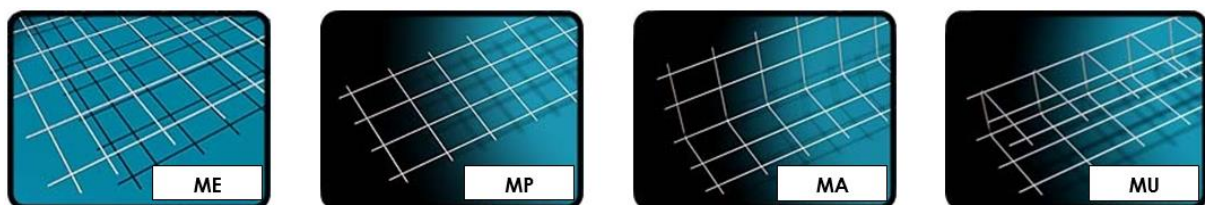
*2.3.4.1 Malla Entera (ME):* Utilizada en losas y paredes como refuerzo adicional.

*2.3.4.2 Malla Plana (MP):* Utilizada en vértices de puertas y ventanas, colocado diagonalmente a 45°. Además, sirve para empalmes entre panales o en discontinuidades del refuerzo.

*2.3.4.3 Malla Angular (MA):* Utilizada en la parte interior y exterior de las uniones muro-losa y muro-muro.

*2.3.4.4 Malla en “U” (MU):* Usado en los bordes de ventanas y puertas como remate.

*Imagen 6: Tipos de Mallas*



Fuente: (PANECONS, 2016, pág. 7)



### 2.3.5 Especificaciones técnicas de los componentes del sistema constructivo Hormi2.

Las características detalladas a continuación se usarán para el posterior diseño del bordillo, abordado en el capítulo 3.

*Tabla 9: Especificaciones Técnicas de los Componentes*

PANEL / COMPONENTES	CARACTERÍSTICA	UNIDAD	ESTÁNDAR
PANEL	Ancho estándar	mm	1180
	Largo estándar	mm	Variable hasta 6000
	Espesor de placa de EPS	mm	Variable de 40 hasta 300
	Profundidad de la onda convexa	mm	12
	Separación de la onda	mm	70
	Espesor de capa de hormigón	mm	Según diseño estructural
POLIESTIRENO EXPANDIDO - EPS -	Densidad nominal	Kg/m <sup>3</sup>	Variable de 12 a 20
	Absorción de agua	Kg/m <sup>2</sup>	0,028
	Conductividad térmica	W/m °C	0,037
	Resistividad al vapor	mm Hg m <sup>2</sup> día/g cm <sup>2</sup>	0,15
	Tensión de compresión al 10% de deformación	□10 (Kg/cm <sup>2</sup> )	≥ 50
	Resistencia a la flexión	□B(Kg/cm <sup>2</sup> )	≥ 100
ARMADURA (MALLA)	Dimensión de tramado	mm	65 x 65
	Límite de fluencia (fy)	Kg/cm <sup>2</sup>	6500
	Espesor del alambre de acero	mm	2,5 – 3,0
	Ala para traslape en junta entre paneles	mm	65
	Intensidad de corriente para electro solda		
MORTERO / MICROCONCRETO	Resistencia a la compresión (f'c)	Kg/cm <sup>2</sup>	Según diseño estructural
	Relación agua – cemento máxima	R	Según diseño del mortero
	Tamaño máximo de la partícula del agregado <sup>2</sup>	mm	8
	Relación volumétrica de cemento - agregado	R	Según diseño del mortero
	Aditivo para concreto lanzado	S/U	Libre de álcalis
	Tamaño máximo de fibra polipropileno	mm	12
	Adición de fibra de polipropileno de 12 mm	Kg/saco cemento	0.3 o según diseño del mortero
	Fuerza de compactación neumática mínima	lt aire / min	300 a 350

Fuente: (PANECONS, 2016, pág. 9)

### 3 DISEÑO DEL BORDILLO

#### 3.1 Prediseño

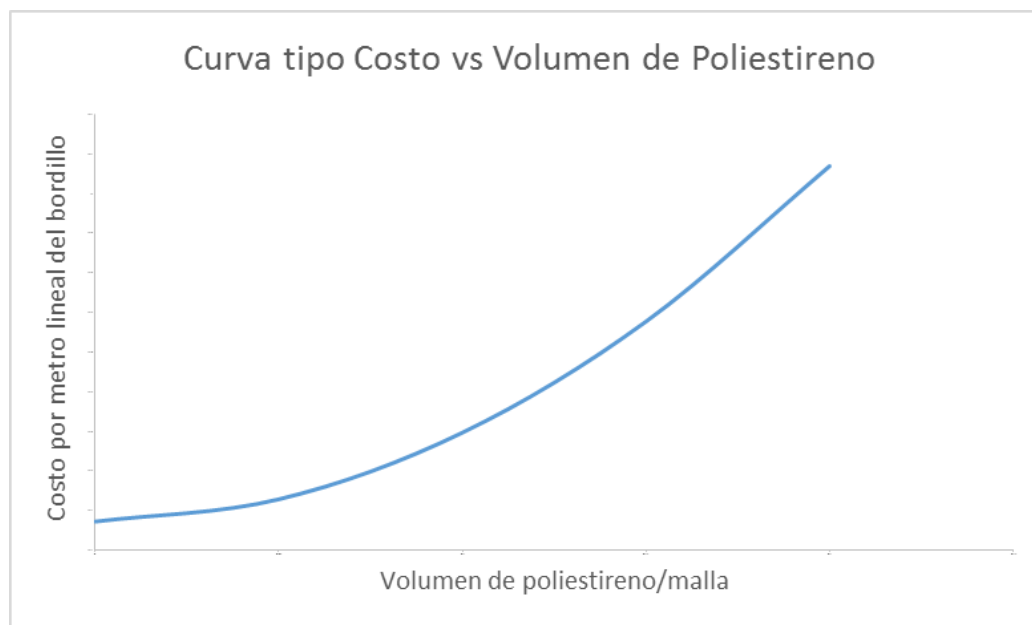
##### 3.1.1 Precio unitario de los componentes

El personal de la empresa de PANECONS, nos facilitó los costos unitarios de los materiales con los cuales realizaremos el prototipo del bordillo y que fueron previamente detallados en cuanto a sus características y propiedades.

En PANECONS se consideran para fines de análisis de costos unitarios al poliestireno, la malla electrosoldada y los conectores como un solo elemento. Por lo cual para nuestro análisis de costo unitario por metro de bordillo solo tendremos dos elementos: poliestireno/malla y mortero.

Realizamos varios análisis con diferentes configuraciones geométricas a la variación del costo en relación con el volumen de mortero y poliestireno/malla. Por medio de los cuales determinamos la tendencia al incrementar el volumen del núcleo de poliestireno en el bordillo. La cual se muestra a continuación:

*Diagrama 1: Curva tipo costo vs volumen de poliestireno*



Fuente: (Autores, 2017).

En el diagrama podemos apreciar que el costo unitario por metro lineal de bordillo es directamente proporcional al volumen del núcleo de poliestireno/malla. Siendo el menor costo cuando el bordillo se compone únicamente de mortero.

### 3.1.2 Predimensionamiento

En un primer tanteo se realizaron varias iteraciones con diferentes configuraciones geométricas del bordillo, manteniendo constante un recubrimiento de 5 centímetros para determinar el costo y el peso óptimos. Se trabajó con un costo unitario de mortero de 135,42 dólares por metro cúbico (USD/m<sup>3</sup>), valor proporcionado por PANECONS.

Considerando el sistema de ensamblaje de hormi2, se realizó el cálculo del costo en función de las dimensiones comerciales de los paneles de poliestireno, para evitar desperdicios en el corte requerido, como se muestra a continuación:

*Tabla 10: Costos de los paneles comerciales de Hormi2*

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Costo por metro cuadrado (USD/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Costo Volumétrico (USD/m<sup>3</sup>)</b>
PSE 140	14	22,98	164,14
PSE 150	15	24,02	160,13
PSE 160	16	25,57	159,81
PSE 170	17	27,11	159,47
PSE 180	18	28,08	156,00
PSE 190	19	29,02	152,74
PSE 200	20	30,54	152,70

Fuente: (PANECONS, 2016).

Las variables dentro de las iteraciones se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 11: Características Generales de Bordillos*

N° Iteración	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen de Poliestireno (m³)	Volumen de Mortero (m³)	Costo Poliestireno y Malla (USD)	Costo Total (USD)	Peso Total (kg)
1	30	30	0,0400	0,0500	6,11	12,88	90,80
2	25	25	0,0225	0,0400	3,60	9,02	72,45
3	20	30	0,0200	0,0400	3,05	8,47	72,40
4	20	25	0,0150	0,0350	2,40	7,14	63,30
5	15	30	0,0100	0,0350	1,53	6,27	63,20
6	15	25	0,0075	0,0300	1,20	5,26	54,15
7	15	20	0,0050	0,0250	0,76	4,15	45,10

Fuente: (Autores, 2017).

Se escogió la iteración N°6 para realizar un análisis más detallado de la misma y determinar el diseño óptimo, variando su recubrimiento. Basándonos en el peso total que tendría y en las dimensiones comerciales encontradas en el DMQ.

### 3.1.3 Consideraciones Ergonómicas

Aprovechando la ligereza del sistema hormi2, se consideró la variable del peso dentro del diseño, ponderándolo junto al costo para determinar la distribución geométrica de los materiales cuyo peso y costo sean los mínimos.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT, 1998), se establecen los pesos máximos que pueden ser levantados por los trabajadores de la construcción de manera segura en situaciones ocasionales y de manera repetitiva dentro de una jornada de trabajo normal.

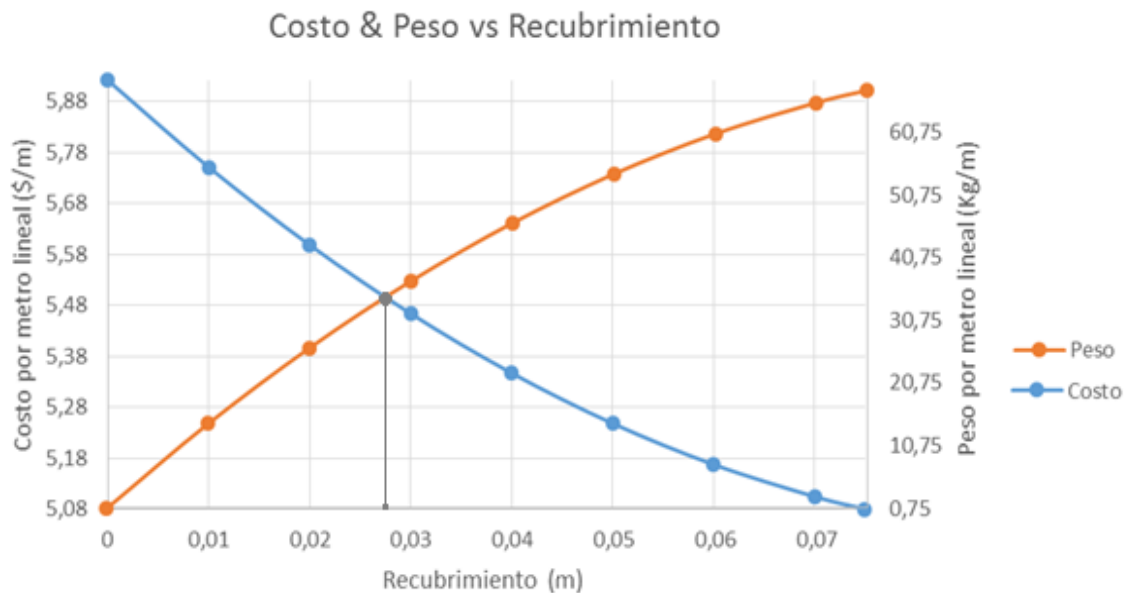
Tabla 12: Peso recomendado de las cargas en condiciones ideales de levantamiento

	Peso Máximo (Kg)	Factor de Corrección	Porcentaje de población protegida (%)
En general	25	1	85
Mayor protección	15	0,6	95
Trabajadores entrenados (Situaciones aisladas)	40	1,6	Datos no disponibles

Fuente: (INSHT I. N., 1998).

Para lo cual se realizó el siguiente diagrama, en el cual se relacionan el costo y el peso del bordillo, considerando como variable el espesor de la capa de mortero.

Diagrama 2: Costo & Peso en función del recubrimiento



Fuente: (Autores, 2017).

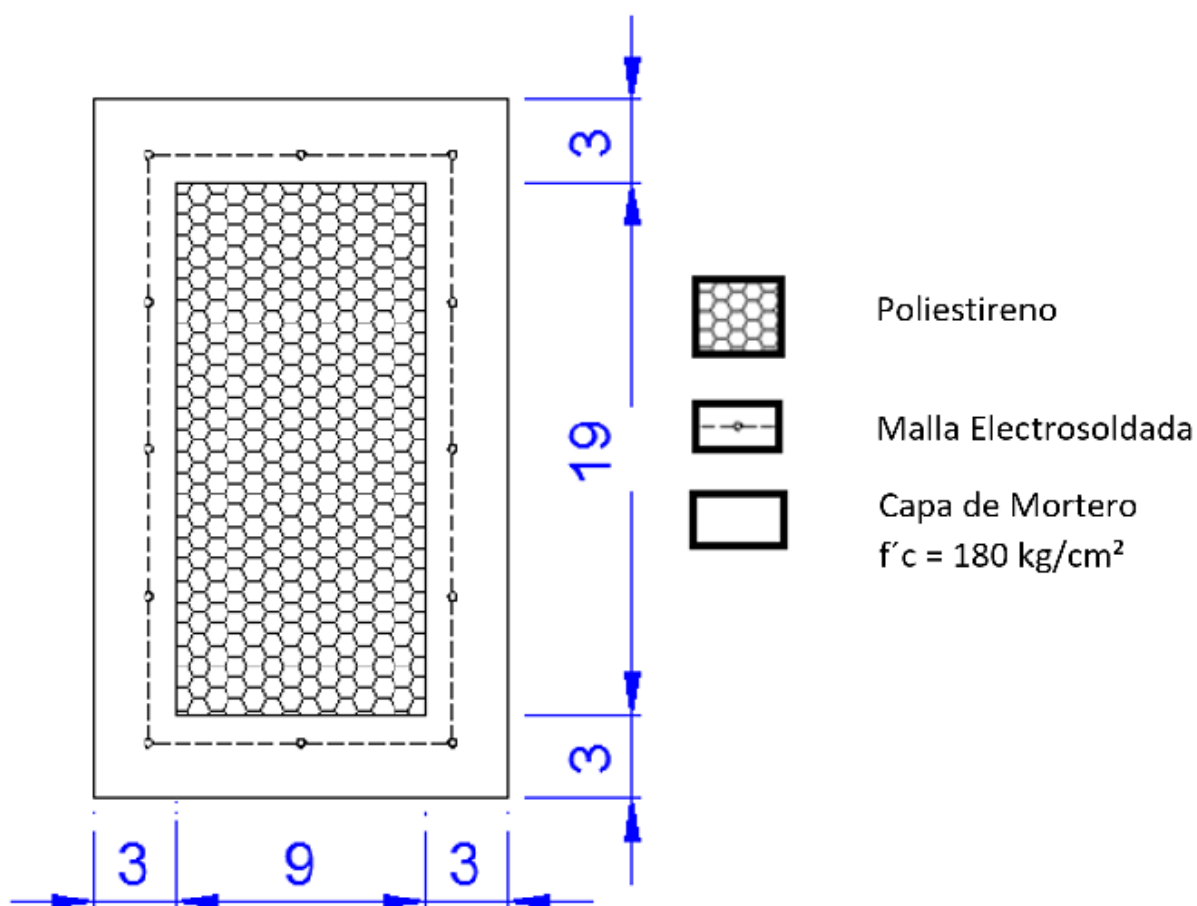
Se puede apreciar que el recubrimiento necesario para el mínimo peso y costo se encuentra en la intersección de ambas curvas, el cual es de 2,75 cm, que equivale a un peso de 34,52 kg y un costo por metro lineal de 5,49 USD. Finalmente se decidió utilizar 4 prototipos de las siguientes características.

Tabla 13: Propiedades de los Prototipos

Propiedades de los Prototipo		
Ancho	15	cm
Altura	25	cm
Largo	100	cm
Recubrimiento	3 y 4	cm
$f'c$	180 y 210	kg/cm <sup>2</sup>
fi alambre	3	mm
$f_y$	6500	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: (Autores, 2017).

Ilustración 1: Esquema del Prototipo de 3 centímetros de recubrimiento y  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup>.



Fuente: (Autores, 2017).

## 3.2 Diseño a flexión

### 3.2.1 Análisis del bordillo a flexión

El diseño se realizó mediante el análisis del bordillo sujeto a flexión, en el cual, se comprobó que sí se cumplen satisfactoriamente con los requisitos conforme a la normativa (INEN S. E., 2017), como se ha detallado anteriormente. Se trabajó con la sección detallada en el predimensionamiento y las siguientes consideraciones iniciales:

- El módulo de elasticidad del concreto será considerado como  $15100\sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ .
- El módulo de elasticidad del acero será considerado igual a  $2,04 * 10^6 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ .
- El diseño se realizará mediante el método de esfuerzos admisibles (ASD).

El análisis se realizó por medio de una hoja de cálculo, en la cual se tienen como variables independientes las dimensiones del mortero y poliestireno (base y altura), recubrimientos, área del acero y resistencia de los materiales.

Tabla 14: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de  $180 \text{ kg/cm}^2$  y recubrimiento 3 cm.

Datos:		
Recubrimiento Interno=	0,15	cm
Recubrimiento Externo=	2,85	cm
Altura=	15,0	cm
Base=	25,0	cm
Número de alambres=	5,0	
Diámetro del alambre=	0,30	cm
Área Acero=	0,3534	cm <sup>2</sup>
Área concreto=	204,0	cm <sup>2</sup>
n (Relación Modular) =	10	
Factor seguridad=	0,9	
Esf. admisible acero=	1690	kg/cm <sup>2</sup>
Esf. admisible concreto=	81	kg/cm <sup>2</sup>

Cálculo de momentos		
Esfuerzo de Diseño=	3,50	MPa
	35,69	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo último=	39,66	
Momento admisible=	14280,53	kg*cm
Momento último=	15867,25	kg*cm

fy=	6500	kg/cm <sup>2</sup>
f'c=	180	kg/cm <sup>2</sup>

Inercia Total=	3000,95	cm <sup>4</sup>
I. Acero=	62,45	cm <sup>4</sup>
I. Concreto=	2938,50	cm <sup>4</sup>

Cálculo de esfuerzos		
fc=	39,66	kg/cm <sup>2</sup>
f's=	491,73	kg/cm <sup>2</sup>
fs=	245,86	kg/cm <sup>2</sup>

Momento último		
Muc=	0,32	t*m
Mus'=	0,55	t*m
Mus=	1,09	t*m

Fuente: (Autores, 2017).

A continuación, se muestra el procedimiento para determinar si el bordillo resiste o no, las solicitudes de esfuerzo y momento a las que será sometido en el ensayo a flexión. El análisis se lo realizó considerando la mayor dimensión en sentido horizontal debido a las especificaciones en la normativa INEN 3132 (INEN S. E., 2017).

### 3.2.2.1 Ubicación eje neutro

En primer lugar, se ubica el eje neutro, por medio de la igualdad de momentos de área, tanto en el área superior como inferior con respecto al eje neutro. El bordillo de diseño es simétrico tanto en el concreto como en el acero, por lo cual el eje neutro se encontrará en la mitad, como se muestra a continuación:

$$M_{sup} = M_s + M_c$$

$$M_{sup} = [(2 * n - 1) * A_s * d] + [2 * A_{c1} * d_{c1}] + [A_{c2} * d_{c2}]$$

$$M_{sup} = \{[(2 * 10) - 1] * 0,3534 \text{ cm}^2 * 4,65 \text{ cm}\} + [2 * 13,5 \text{ cm}^2 * 2,25 \text{ cm}] + [75 \text{ cm}^2 * 6 \text{ cm}]$$

$$M_{sup} = 541,973 \text{ cm}^3$$

$$M_{inf} = M_{As} + M_c$$

$$M_{inf} = [(2 * n - 1) * A_s * d] + [2 * A_{c1} * d_{c1}] + [A_{c2} * d_{c2}]$$

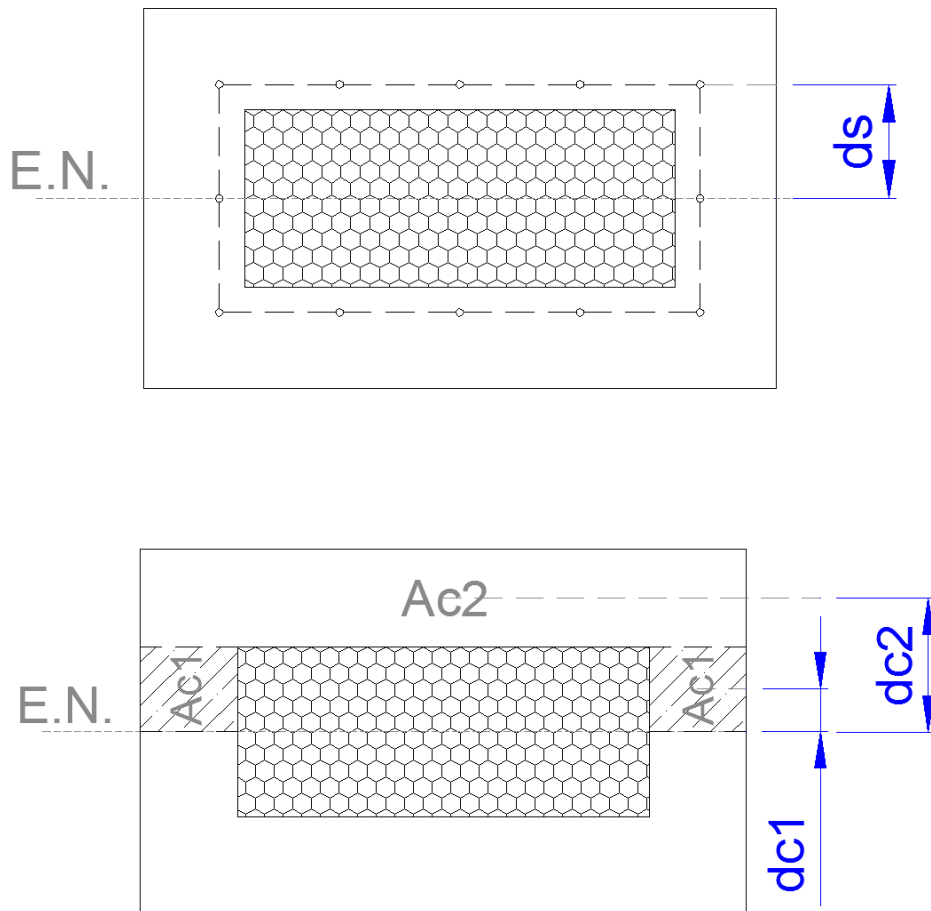
$$M_{inf} = \{[(2 * 10) - 1] * 0,3534 \text{ cm}^2 * 4,65 \text{ cm}\} + [2 * 13,5 \text{ cm}^2 * 2,25 \text{ cm}] + [75 \text{ cm}^2 * 6 \text{ cm}]$$

$$M_{inf} = 541,973 \text{ cm}^3$$

$$M_{inf} = M_{sup} = 541,973 \text{ cm}^3$$



Ilustración 2: Gráfico ilustrativo del cálculo de momento de áreas



Fuente: (Autores, 2017).

Siendo:

$M_{sup}$  = Momento Superior del elemento,  $cm^3$ .

$M_{inf}$  = Momento Inferior del elemento,  $cm^3$ .

$M_{As}$  = Momento de Área del Acero,  $cm^3$ .

$M_c$  = Momento de Área del Concreto,  $cm^3$ .

$n$  = Relación Modular

$As$  = Área del Acero,  $cm^2$ .

$Ac$  = Área del Concreto,  $cm^2$ .

$d$  = Distancia del Eje Neutro al Centroides del Área,  $cm$ .

$Kd$  = Distancia del Eje Neutro a la fibra más alejada de compresión,  $cm$ .

### 3.2.2.2 Cálculo de $K_d$

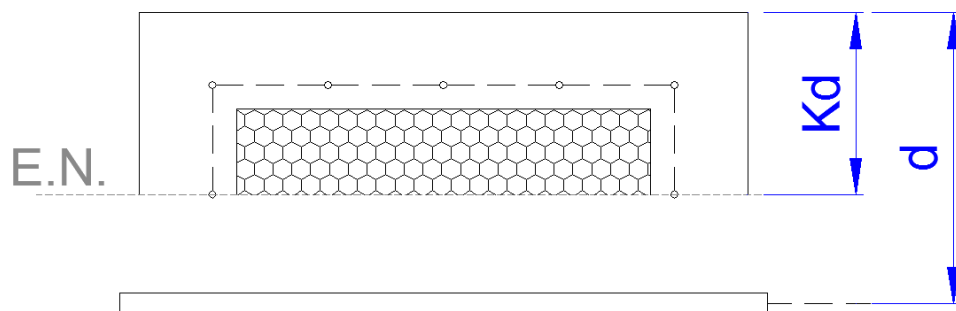
Dado que  $M_{inf} = M_{sup}$ , el eje neutro se encontrará en la mitad de la altura del bordillo.

Por lo tanto: 
$$K_d = \frac{h}{2} = \frac{15 \text{ cm}}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

### 3.2.2.3 Cálculo de $I_c$

El cálculo se realizó considerando el área de concreto sujeta a esfuerzos de compresión y la capa de acero de refuerzo mediante el método del área transformada.

*Ilustración 3: Gráfico ilustrativo para el cálculo de la inercia*



Fuente: (Autores, 2017).

$$I_c = \frac{25 * 3^3}{12} + (25 * 3 * 6^2) + \frac{2 * 3 * 4,5^3}{3} + 2 * [(2 * 10) - 1] * 0,3534 * (7,5 - 2,85)$$

$$I_c = 3000,95 \text{ cm}^4$$

#### 3.2.2.4 Cálculo de momentos

El cálculo de momento al que va a estar sometido el bordillo se realizó considerando la resistencia característica del bordillo para uso peatonal, residencial y comercial, de acuerdo con la norma (INEN S. E., 2017), cuyo valor es de 3,5 MPa como se muestra a continuación:

$$\text{Esfuerzo de carga} = 3,5 \text{ MPa} = 35,69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Considerando un factor de mayoración de 0,9.

$$\text{Esfuerzo de carga mayorado} = \frac{35,69 (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}{0,9} = 39,66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Momento de carga} = 2 * \frac{\text{Esf. último} * \text{Inercia}}{\text{Altura}} = 2 * \frac{39,66 * 3000,95 (\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}{15 \text{ cm}}$$

$$\text{Momento de carga} = 15867,25 \text{ kg} * \text{cm} = 0,16 \text{ T} * \text{m}$$

#### 3.2.2.5 Cálculo de esfuerzos

El cálculo de los esfuerzos a los que estará sometido el bordillo se realizó considerando el momento de carga calculado en 3.2.2.4.

$$f_c = \frac{M * k_d}{I_c} = \frac{15867,25 \text{ kg} * \text{cm} * 7,5 \text{ cm}}{3000,95} = 39,66 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_s = \frac{2 * n * M * (K_d - d')}{I_c} = \frac{2 * 10 * 15867,25 \text{ Kg} * \text{cm} * (4,65) \text{ cm}}{3000,95 \text{ cm}^4} = 491,73 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_s = \frac{n * M * (d - K_d)}{I_c} = \frac{10 * 15867,25 \text{ Kg} * \text{cm} * (7,5 - 2,85) \text{ cm}}{3000,95 \text{ cm}^4} = 245,86 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

### 3.2.2.6 Momento admisible

$$M_c = \frac{\sigma_{adm} * I_c}{K_d} = \frac{81 \frac{kg}{cm^2} * 3000,95 cm^4}{7,5 cm} = 0,32 T * m > 0,16 T * m \text{ Si resiste}$$

$$M_{s'} = \frac{\sigma_{adm} * I_c}{2 * n * d'} = \frac{1690 \frac{kg}{cm^2} * 3000,95 cm^4}{2 * 10 * (7,5 - 2,85) cm} = 0,55 T * m > 0,16 T * m \text{ Si resiste}$$

$$M_s = \frac{\sigma_{adm} * I_c}{n * d} = \frac{1690 \frac{kg}{cm^2} * 3000,95 cm^4}{10 * (7,5 - 2,85) cm} = 1,09 T * m > 0,16 T * m \text{ Si resiste}$$

### **3.2.2 Resultados del análisis a flexión**

Se realizó el mismo cálculo para los bordillos con recubrimiento de 3 y 4 centímetros y una resistencia a la compresión de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup> restantes, como se muestra en las siguientes tablas, para los cuales también se cumplen con las mismas exigencias de carga.

Tabla 15: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 210 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 3 cm.

Datos:		
Recubrimiento Interno=	0,15	cm
Recubrimiento Externo=	2,85	cm
Altura=	15,0	cm
Base=	25,0	cm
Número de alambres=	5,0	
Diámetro del alambre=	0,30	cm
Área Acero=	0,3534	cm <sup>2</sup>
Área concreto=	204,0	cm <sup>2</sup>
n (Relación Modular) =	10	
Factor seguridad=	0,9	
Esf. admisible acero=	1690	kg/cm <sup>2</sup>
Esf. admisible concreto=	94,5	kg/cm <sup>2</sup>

Cálculo de momentos		
Esfuerzo de diseño=	3,50	MPa
	35,69	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo último=	39,66	Kg/cm <sup>2</sup>
Momento admisible=	14280,53	kg*cm
Momento último=	15867,25	kg*cm

fy=	6500	kg/cm <sup>2</sup>
f'c=	210	kg/cm <sup>2</sup>

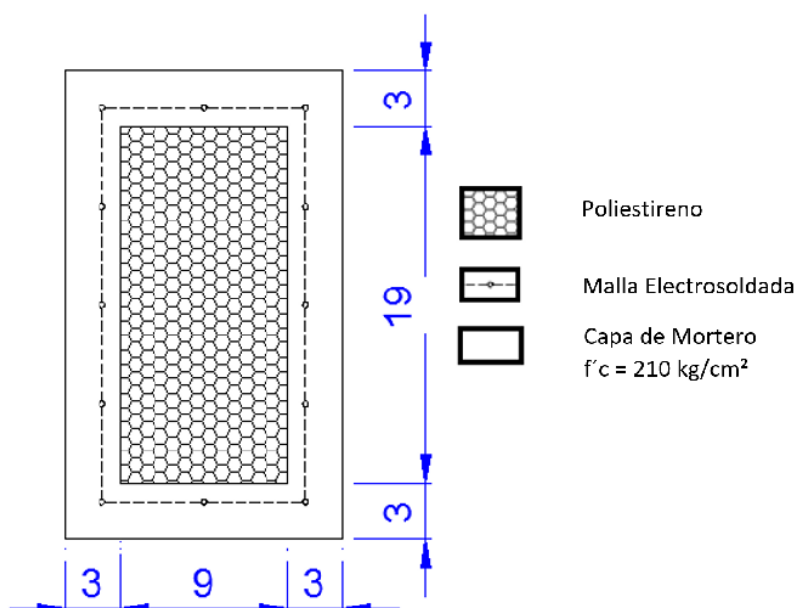
Inercia Total=	3000,95	cm <sup>4</sup>
I. Acero=	62,45	cm <sup>4</sup>
I. Concreto=	2938,50	cm <sup>4</sup>

Cálculo de esfuerzos		
fc=	39,66	kg/cm <sup>2</sup>
f's=	491,73	kg/cm <sup>2</sup>
fs=	245,86	kg/cm <sup>2</sup>

Momentos últimos		
Muc=	0,38	t*m
Mus'=	0,55	t*m
Mus=	1,09	t*m

Fuente: (Autores, 2017).

Ilustración 4: Esquema de bordillo de 210 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 3 cm.



Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 16: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 180 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm.

Datos:		
Recubrimiento Interno=	0,15	cm
Recubrimiento Externo=	3,85	cm
Altura=	15,0	cm
Base=	25,0	cm
Número de alambres=	5,0	
Diámetro del alambre=	0,30	cm
Área Acero=	0,3534	cm <sup>2</sup>
Área concreto=	256,0	cm <sup>2</sup>
n (Relación Modular) =	10	
Factor seguridad=	0,9	
Esf. admisible acero=	1690	kg/cm <sup>2</sup>
Esf. admisible concreto=	81	kg/cm <sup>2</sup>

Cálculo de momentos		
Esfuerzo de diseño=	3,50	MPa
	35,69	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo último=	39,66	Kg/cm <sup>2</sup>
Momento admisible=	15806,80	kg*cm
Momento último=	17563,11	kg*cm

fy=	6500	kg/cm <sup>2</sup>
f'c=	180	kg/cm <sup>2</sup>

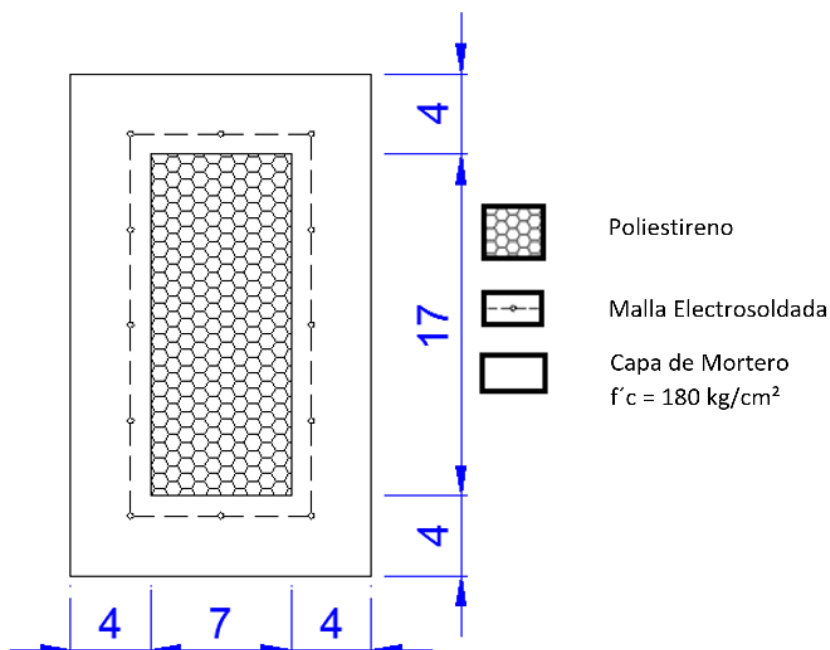
Inercia Total=	3321,69	cm <sup>4</sup>
I. Acero=	49,02	cm <sup>4</sup>
I. Concreto=	3272,67	cm <sup>4</sup>

Cálculo de esfuerzos		
fc=	39,66	kg/cm <sup>2</sup>
f's=	385,98	kg/cm <sup>2</sup>
fs=	192,99	kg/cm <sup>2</sup>

Momentos últimos		
Muc=	0,36	t*m
Mus'=	0,77	t*m
Mus=	1,54	t*m

Fuente: (Autores, 2017).

Ilustración 5: Esquema del bordillo de 180 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm.



Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 17: Hoja de cálculo para el análisis a flexión del bordillo de 210 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm.

Datos:		
Recubrimiento Interno=	0,15	cm
Recubrimiento Externo=	3,85	cm
Altura=	15,0	cm
Base=	25,0	cm
Número de alambres=	5,0	
Diámetro del alambre=	0,30	cm
Área Acero=	0,3534	cm <sup>2</sup>
Área concreto=	256,0	cm <sup>2</sup>
n (Relación Modular) =	10	
Factor seguridad=	0,9	
Esf. admisible acero=	1690	kg/cm <sup>2</sup>
Esf. admisible concreto=	94,5	kg/cm <sup>2</sup>

Cálculo de momentos		
Esfuerzo de diseño=	3,50	MPa
	35,69	Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo último=	39,66	Kg/cm <sup>2</sup>
Momento admisible=	15806,80	kg*cm
Momento último=	17563,11	kg*cm

fy=	6500	kg/cm <sup>2</sup>
f'c=	210	kg/cm <sup>2</sup>

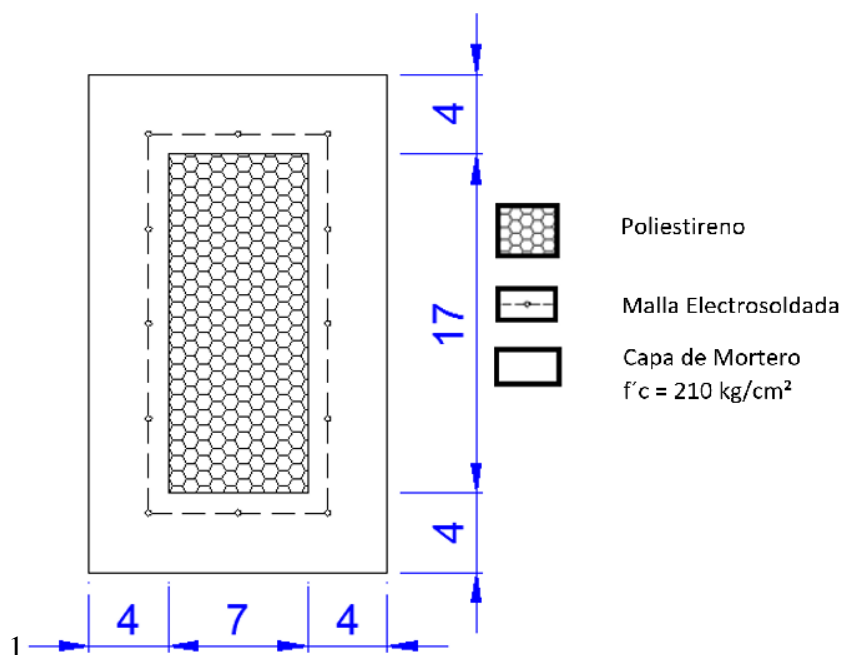
Inercia Total=	3321,69	cm <sup>4</sup>
I. Acero=	49,02	cm <sup>4</sup>
I. Concreto=	3272,67	cm <sup>4</sup>

Cálculo de esfuerzos		
fc=	39,66	kg/cm <sup>2</sup>
f's=	385,98	kg/cm <sup>2</sup>
fs=	192,99	kg/cm <sup>2</sup>

Momentos últimos		
Muc=	0,42	t*m
Mus'=	0,77	t*m
Mus=	1,54	t*m

Fuente: (Autores, 2017).

Ilustración 6: Esquema del bordillo de 210 kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento 4 cm.



Fuente: (Autores, 2017).

De aquí en adelante se utilizó la siguiente nomenclatura para referirnos a los diferentes tipos de bordillos a fabricar, analizar y presupuestar en el presente trabajo de disertación.

*Tabla 18: Nomenclatura de los diferentes tipos de bordillos*

<b>Nomenclatura</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Recubrimiento (cm)</b>
180R3	180	3
180R4	180	4
210R3	210	3
210R4	210	4

Fuente: (Autores, 2017).

### 3.3 Selección de arena optima

Las pruebas de laboratorio realizadas en el área de hormigones y resistencia de materiales tuvieron la finalidad de establecer las proporciones idóneas de los materiales que posteriormente fueron usados en la dosificación del mortero que se empleó en los bordillos de hormi2.

En complemento se detallan los ensayos realizados en las instalaciones de la PUCE para las 6 distintas muestras de material extraído del sector de San Antonio de Pichincha, de las canteras de Fucusucu III, Fucusucu V, Terrazas y el Guabo para la elección del material que se adecuó de manera óptima a los distintos requerimientos normativos y constructivos.

*Imagen 7: Selección de material fino*



Fuente: (Autores, 2017).



*Tabla 19: Procedencia de los Materiales*

<b>Muestra</b>	<b>Código de la Muestra</b>
Arena Fina, Mina Fucusucu III	<b>F3</b>
Polvo Azul, Mina Fucusucu V	<b>F5A</b>
Polvo Rosado, Mina Fucusucu V	<b>F5R</b>
Polvo Azul, Mina el Guabo	<b>GA</b>
Polvo Rosado, Mina el Guabo	<b>GR</b>
Arena, Terrazas de Mandingo	<b>TM</b>

Fuente: (Autores, 2017).

### **3.3.1 Ensayos del agregado fino**

Las normas en las que se basó el cálculo y procedimiento de los ensayos de laboratorio realizados son:

- Muestreo de los agregados: INEN 695 y ASTM D75.
- Cuarteo manual de las muestras: INEN 695 Y ASTM D420.
- Humedad natural: INEN 862 y ASTM C566.
- Granulometría de los agregados y módulo de finura: INEN 696 y ASTM C136.
- Material que pasa el tamiz No. 200: INEN 697 y ASTM C117.
- Absorción del agregado fino: INEN 856 y ASTM C128.
- Peso unitario: INEN 858 y ASTM C29.
- Contenido orgánico de la arena: INEN 855 y ASTM C40.
- Mezcla mecánica de pastas de cemento y morteros de consistencia plástica: ASTM C305 y INEN 488.

#### 3.3.1.1 Cuarteo manual de las muestras

El objetivo principal del cuarteo es el de conseguir a través de la homogenización del material, una muestra representativa del agregado, para que de este modo las variaciones en las características físicas y mecánicas de las muestras sean mínimas.

*Imagen 8: Cuarteo manual de las muestras*



Fuente: (Autores, 2017)

#### 3.3.1.2 Humedad Natural

Es definida como la relación gravimétrica existente entre el peso de los sólidos y el peso del agua, obtenido de un determinado volumen de suelo. Generalmente expresada en porcentaje, propiedad física del suelo de gran importancia dentro de la ingeniería civil.

*Imagen 9: Secado del material para el cálculo de humedad*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 3.3.1.3 Granulometría de los Agregados

La norma ASTM C144 (2011) establece límites para la curva granulométrica del agregado fino usado en la elaboración de morteros fluidos, en la curva se relaciona el porcentaje de material que pasa por los diferentes tamices y su abertura nominal.

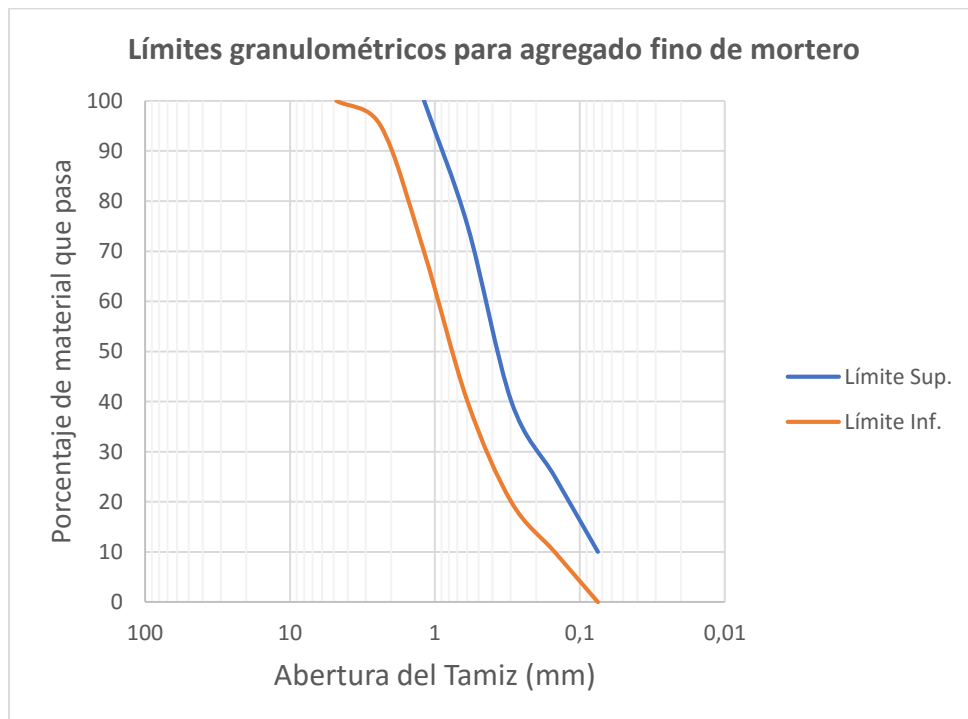
Tabla 20: Límites granulométricos para agregado fino en mortero.

Límites Granulométricos Normativos			
Malla N°	Abertura (mm)	Límite Sup. % Pasa	Límite Inf. % Pasa
4"	4,78	100	100
8"	2,36	100	95
16"	1,19	100	70
30"	0,60	75	40
50"	0,30	40	20
100"	0,15	25	10
200"	0,08	10	0

Fuente: (ASTM A. S., 2011)

Se escogió el material que más se ajustó a los límites presentados para la elaboración del mortero y que cumplió con el resto de los requisitos normativos.

Diagrama 3: Límites granulométricos del agregado fino en mortero.



Fuente: (ASTM A. S., 2011).

*Imagen 10: Tamizado del material, laboratorio PUCE.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 3.3.1.4 Material que pasa el tamiz No. 200.

El objetivo de esta práctica es determinar por lavado la cantidad de agregado que pasa por el tamiz N°200 (75  $\mu\text{m}$ ). Las partículas de agregados muy finos, materiales solubles en el agua y arcilla, son dispersadas por el lavado.

*Imagen 11: Lavado del material a través del tamiz N°200.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 3.3.1.5 Absorción del agregado fino: INEN 856 y ASTM C128

Propiedad física que depende del grado de acomodo de las partículas del agregado, permeabilidad y grado de saturación. La absorción del agregado fino es calculada a partir de su condición de superficie seca y saturada (SSS) expresada como un porcentaje de peso.

*Imagen 12: Obtención de la condición (SSS).*



Fuente: (Autores, 2017).



#### 3.3.1.6 Peso unitario: INEN 858 y ASTM C29

Relación entre la masa del agregado y el volumen que ocupa. Se determina en dos condiciones, suelta y compactada.

*Imagen 13: Determinación del peso unitario suelto y compactado.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 3.3.1.7 Contenido orgánico de la arena: INEN 855 y ASTM C40

En la elaboración de hormigones y morteros la presencia de material orgánico en sus agregados es perjudicial por lo que es necesario realizar una cuantificación de los compuestos orgánicos presentes. Para esto se usa una solución de hidróxido de sodio al 3%.

*Imagen 14: Contenido orgánico.*



Fuente: (Autores, 2017).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu III

DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: F3

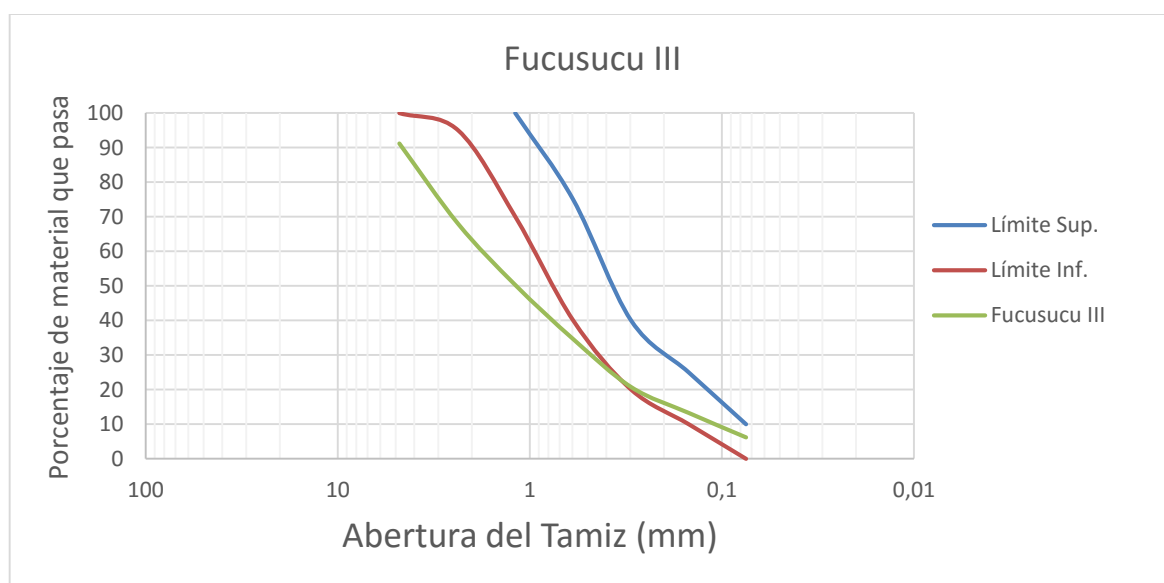
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				795,24	
Fucusucu III					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	70,35	70,35	8,85	91,15
8"	2,36	184,86	255,21	32,09	67,91
16"	1,19	140,65	395,86	49,78	50,22
30"	0,60	124,32	520,18	65,41	34,59
50"	0,30	110,25	630,43	79,28	20,72
100"	0,15	59,37	689,80	86,74	13,26
200"	0,08	56,19	745,99	93,81	6,19



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: F5R

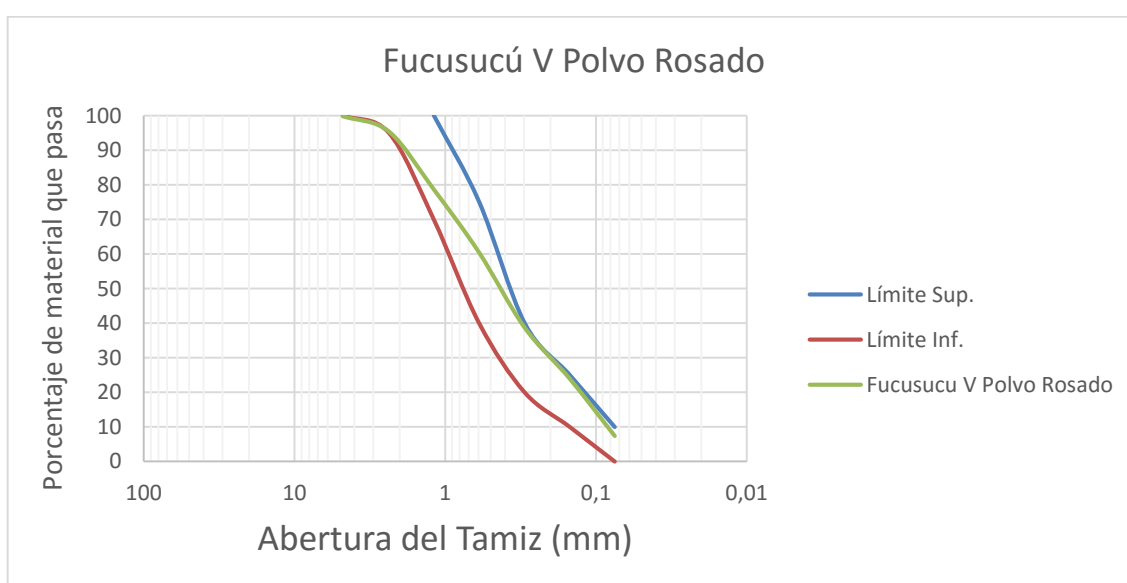
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				1015,24	
Fucusucú V Polvo Rosado					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	1,24	1,24	0,12	99,88
8"	2,36	44,98	46,22	4,55	95,45
16"	1,19	169,84	216,06	21,28	78,72
30"	0,60	185,45	401,51	39,55	60,45
50"	0,30	220,24	621,75	61,24	38,76
100"	0,15	150,37	772,12	76,05	23,95
200"	0,08	167,87	939,99	92,59	7,41





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: F5A

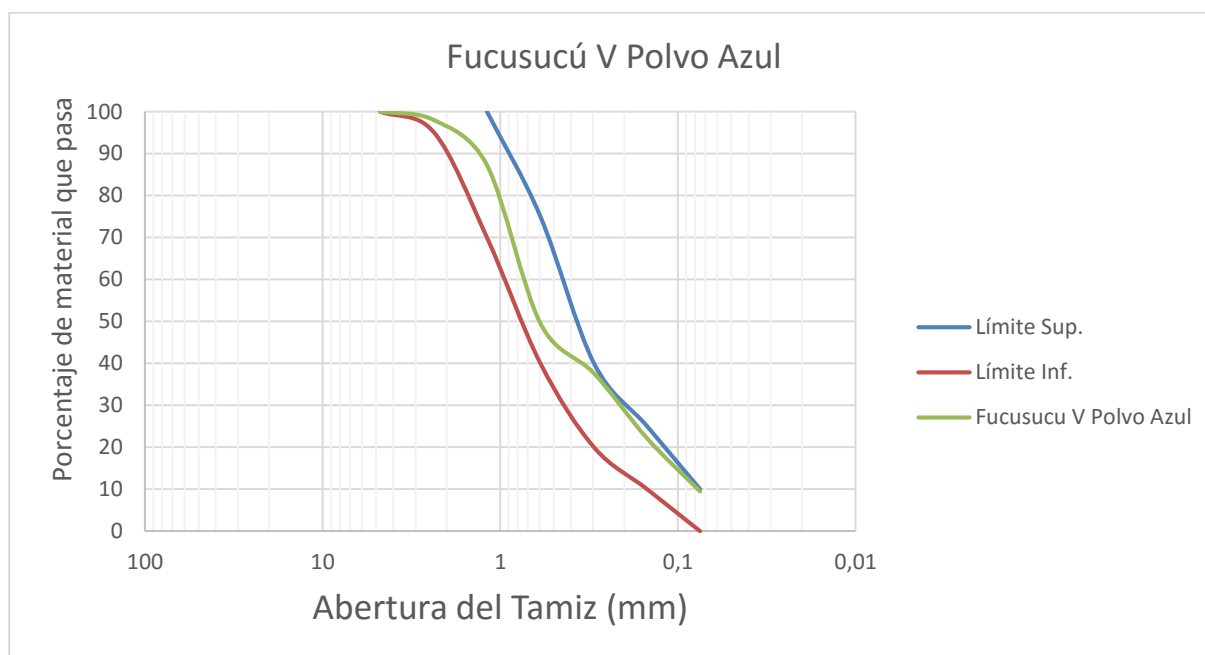
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				728,95	
Fucusucú V Polvo Azul					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	0,00	0,00	0,00	100,00
8"	2,36	14,94	14,94	2,05	97,95
16"	1,19	78,15	93,09	12,77	87,23
30"	0,60	274,96	368,05	50,49	49,51
50"	0,30	86,67	454,72	62,38	37,62
100"	0,15	113,28	568,00	77,92	22,08
200"	0,08	92,21	660,21	90,57	9,43



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: GR

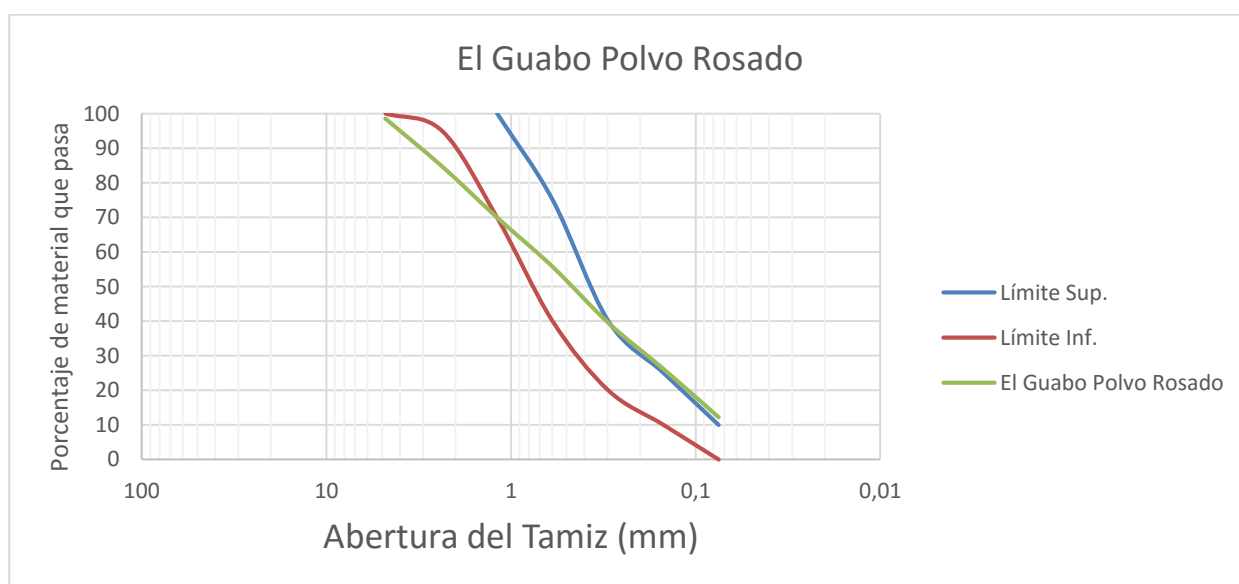
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				1050,47	
El Guabo Polvo Rosado					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	15,42	15,42	1,47	98,53
8"	2,36	144,82	160,24	15,25	84,75
16"	1,19	155,06	315,30	30,02	69,98
30"	0,60	149,77	465,07	44,27	55,73
50"	0,30	170,36	635,43	60,49	39,51
100"	0,15	140,28	775,71	73,84	26,16
200"	0,08	146,43	922,14	87,78	12,22



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: GA

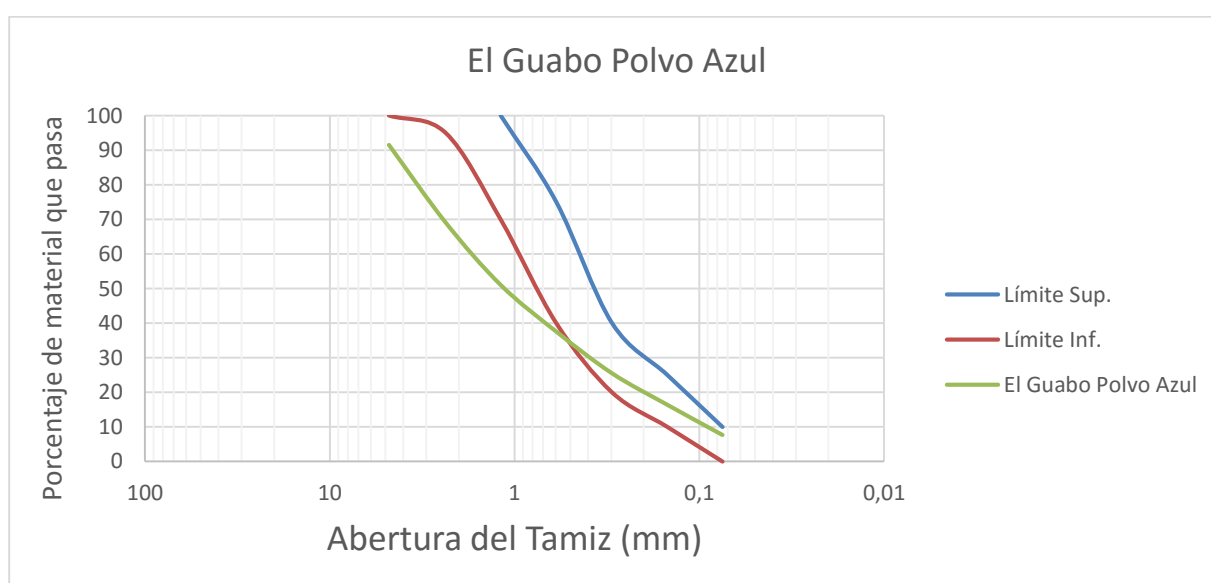
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				1020,36	
El Guabo Polvo Azul					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	86,47	86,47	8,47	91,53
8"	2,36	228,66	315,13	30,88	69,12
16"	1,19	184,30	499,43	48,95	51,05
30"	0,60	137,79	637,22	62,45	37,55
50"	0,30	123,16	760,38	74,52	25,48
100"	0,15	93,08	853,46	83,64	16,36
200"	0,08	88,95	942,41	92,36	7,64



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Terrazas

DESCRIPCIÓN: Arena

MUESTRA: TM

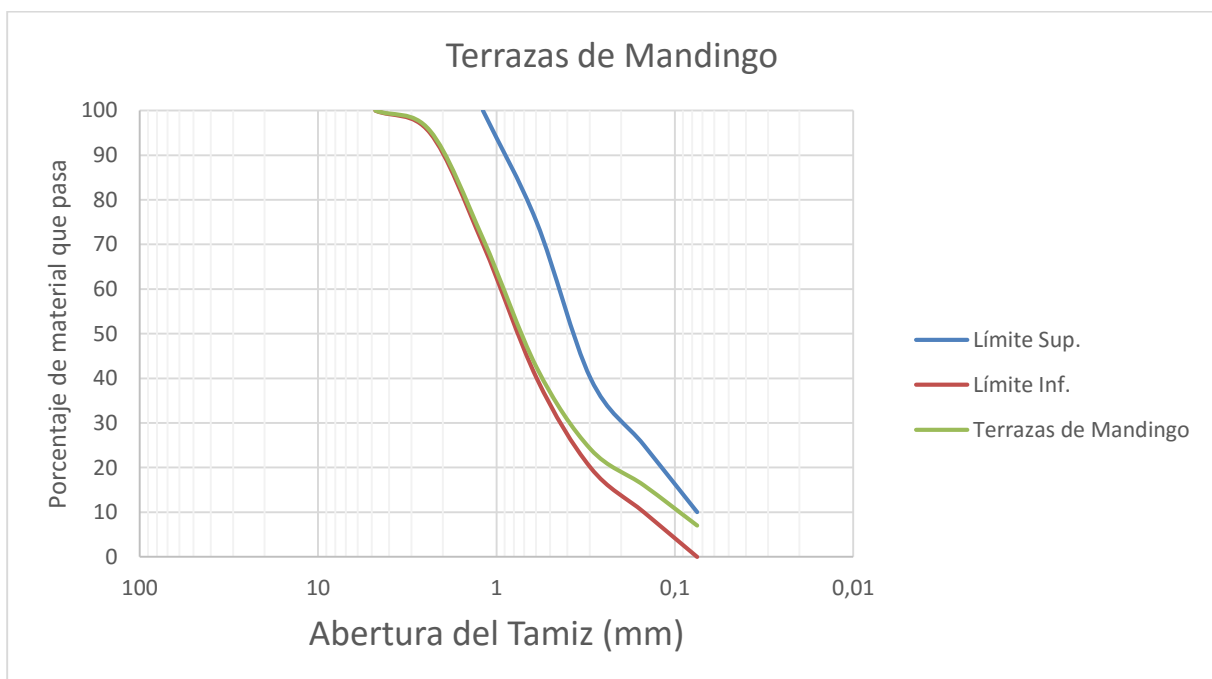
FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

### GRANULOMETRÍA POR MALLAS

Tamaño de la Muestra (gr)				887,50	
Terrazas de Mandingo					
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
4"	4,78	0,00	0,00	0,00	100,00
8"	2,36	40,12	40,12	4,52	95,48
16"	1,19	215,04	255,16	28,75	71,25
30"	0,60	253,83	508,98	57,35	42,65
50"	0,30	164,45	673,44	75,88	24,12
100"	0,15	71,44	744,88	83,93	16,07
200"	0,08	76,59	821,47	92,56	7,44



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú III,  
V y El Guabo

MUESTRA: F3, FA5, F5R, GA, GR y TM

NORMA: ASTM C566

DESCRIPCIÓN: Arena fina, polvo azul y polvo rosado

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL

$$W \% = \frac{\text{Mat. Húmedo} - \text{Mat. Seco}}{\text{Mat. Seco}} * 100$$

Muestra	Peso de Envase (kg)	Envase + Mat. Húmedo (kg)	Mat. Húmedo (kg)	Envase + Mat. Seco (kg)	Mat. Seco (kg)	Contenido de humedad natural %	
Fucusucú III	0,305	2,685	2,380	2,595	2,290	3,930	3,831
	0,312	2,842	2,530	2,751	2,439	3,731	
Fucusucú V Polvo Azul	0,315	2,705	2,390	2,610	2,295	4,139	4,223
	0,329	2,945	2,616	2,837	2,508	4,306	
Fucusucú V Polvo Rosado	0,310	2,060	1,750	2,010	1,700	2,941	3,018
	0,304	2,436	2,132	2,372	2,068	3,095	
El Guabo Polvo Azul	0,330	2,480	2,150	2,390	2,060	4,369	4,201
	0,324	2,852	2,528	2,754	2,430	4,033	
El Guabo Polvo Rosado	0,310	2,055	1,745	1,930	1,620	7,716	7,062
	0,310	2,236	1,926	2,120	1,810	6,409	
Terrazas de Mandingo	0,325	8,780	8,455	8,525	8,200	3,110	3,196
	0,910	10,825	9,915	10,510	9,600	3,281	

*Imagen 15: Material secado al horno, laboratorio PUCE.*



Fuente: (Autores, 2017).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: San Antonio de Pichincha

DESCRIPCIÓN: Agregado fino

MUESTRA: F3, F5R, F5A, G5, GR y TM

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C-117

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

**MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMÍZ No.200**

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

A: PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ No. 200.

B: MASA SECA ANTES DEL LAVADO (gr).

C: MASA SECA DESPUÉS DEL LAVADO (gr).

Muestra	Masa Seca Antes (gr)	Masa Seca Después (gr)	Material que pasa el tamiz N°200 (gr)	Porcentaje que pasa %
Fucusucú III	795,24	737,59	57,65	7,25
Fucusucú V Polvo Azul	728,95	687,55	41,40	5,68
Fucusucú V Polvo Rosado	1015,24	931,28	83,96	8,27
El Guabo Polvo Azul	1020,36	934,34	86,02	8,43
El Guabo Polvo Rosado	1050,47	908,76	141,71	13,49
Terrazas de Mandingo	922,05	990,65	68,60	7,44

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: San Antonio de Pichincha

MUESTRA: F3, F5R, F5A, G5, GR y TM

NORMA: ASTM C-128

DESCRIPCIÓN: Agregado fino

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

**ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

$$A = \frac{B - C}{C} * 100$$

A: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL (gr)

B: MATERIAL EN ESTADO SECO CON SUPERFICIE SATURADA (gr)

C: MATERIAL SECO (gr)

Muestra	Material en estado SSS (gr)	Mat. Seco (gr)	Porcentaje de Absorción (%)
Fucusucú III	500	490	2,04
Fucusucú V Polvo Azul	500	476	5,04
Fucusucú V Polvo Rosado	500	481	3,95
El Guabo Polvo Azul	500	486	2,88
El Guabo Polvo Rosado	500	484	3,31
Terrazas de Mandingo	500	487	2,67

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú III      DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: F3      FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136      ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

**MÓDULO DE FINURA**

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				795,24
Fucusucú III				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)
4"	4,78	70,35	70,35	8,85
8"	2,36	184,86	255,21	32,09
16"	1,19	140,65	395,86	49,78
30"	0,60	124,32	520,18	65,41
50"	0,30	110,25	630,43	79,28
100"	0,15	59,37	689,80	86,74
MF =				3,22



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: F5R

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado } (3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				1015,24
Fucusucú V Polvo Rosado				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)
4"	4,78	1,24	1,24	0,12
8"	2,36	44,98	46,22	4,55
16"	1,19	169,84	216,06	21,28
30"	0,60	185,45	401,51	39,55
50"	0,30	220,24	621,75	61,24
100"	0,15	150,37	772,12	76,05
			MF =	2,03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: F5A

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				728,95
Fucusucú V Polvo Azul				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)
4"	4,78	0,00	0,00	0,00
8"	2,36	29,45	29,45	4,04
16"	1,19	176,68	206,12	28,28
30"	0,60	213,49	419,61	57,56
50"	0,30	139,87	559,48	76,75
100"	0,15	66,25	625,74	85,84
MF =				2,52

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: GR

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				1050,47
El Guabo Polvo Rosado				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)
4"	4,78	15,42	15,42	1,47
8"	2,36	144,82	160,24	15,25
16"	1,19	155,06	315,30	30,02
30"	0,60	149,77	465,07	44,27
50"	0,30	170,36	635,43	60,49
100"	0,15	140,28	775,71	73,84
MF =				2,25

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: GA

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				1020,36
El Guabo Polvo Azul				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)
4"	4,78	86,47	86,47	8,47
8"	2,36	228,66	315,13	30,88
16"	1,19	184,30	499,43	48,95
30"	0,60	137,79	637,22	62,45
50"	0,30	123,16	760,38	74,52
100"	0,15	93,08	853,46	83,64
			MF =	3,09

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Terrazas

DESCRIPCIÓN: Arena

MUESTRA: TM

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C136

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

**MÓDULO DE FINURA**

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Tamaño de la Muestra (gr)				1003,5
Terrazas de Mandingo				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)
4"	4,78	40,50	40,50	0,00
8"	2,36	125,50	166,00	5,00
16"	1,19	134,50	300,50	37,79
30"	0,60	138,00	438,50	55,14
50"	0,30	155,00	593,50	74,63
100"	0,15	164,00	757,50	95,25
MF =				2,68

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú III

DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: F3

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{A - Ms}{Vs}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{B - Mc}{Vc}$$

Masa del molde de material suelto	Ms = 5048 gr
-----------------------------------	--------------

Masa del molde de material compactado	Mc = 1656 gr
---------------------------------------	--------------

Masa del molde + Masa Arena suelta	A = 9717 gr
------------------------------------	-------------

Masa del molde + Masa Arena compactada	B = 6491 gr
----------------------------------------	-------------

Volumen de material suelto	Vs = 2980 cm <sup>3</sup>
----------------------------	---------------------------

Volumen de material compactado	Vc = 2735 cm <sup>3</sup>
--------------------------------	---------------------------

$$\text{Peso unitario suelto} = 1566,78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1767,82 \text{ kg/m}^3$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: F5R

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$Peso\ unitario\ suelto = \frac{A - Ms}{Vs}$$

$$Peso\ unitario\ compactado = \frac{B - Mc}{Vc}$$

Masa del molde de material suelto	Ms = 1656 gr
Masa del molde de material compactado	Mc = 5048 gr
Masa del molde + Masa Arena suelta	A = 5454 gr
Masa del molde + Masa Arena compactada	B = 10369 gr
Volumen de material suelto	Vs = 2735 cm <sup>3</sup>
Volumen de material compactado	Vc = 2980 cm <sup>3</sup>

$$Peso\ unitario\ suelto = 1388,67\ kg/m^3$$

$$Peso\ unitario\ compactado = 1785,57\ kg/m^3$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucú V

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: F5A

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$Peso\ unitario\ suelto = \frac{A - Ms}{Vs}$$

$$Peso\ unitario\ compactado = \frac{B - Mc}{Vc}$$

Masa del molde de material suelto	Ms = 5048 gr
Masa del molde de material compactado	Mc = 1656 gr
Masa del molde + Masa Arena suelta	A = 9158 gr
Masa del molde + Masa Arena compactada	B = 6688 gr
Volumen de material suelto	Vs = 2735 cm <sup>3</sup>
Volumen de material compactado	Vc = 2980 cm <sup>3</sup>

$$Peso\ unitario\ suelto = 1379,19\ kg/m^3$$

$$Peso\ unitario\ compactado = 1839,85\ kg/m^3$$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Rosado

MUESTRA: GR

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$Peso\ unitario\ suelto = \frac{A - Ms}{Vs}$$

$$Peso\ unitario\ compactado = \frac{B - Mc}{Vc}$$

Masa del molde de material suelto	Ms = 5048 gr
Masa del molde de material compactado	Mc = 5048 gr
Masa del molde + Masa Arena suelta	A = 9345 gr
Masa del molde + Masa Arena compactada	B = 9983 gr
Volumen de material suelto	Vs = 2980 cm <sup>3</sup>
Volumen de material compactado	Vc = 2980 cm <sup>3</sup>

$$Peso\ unitario\ suelto = 1441,95\ kg/m^3$$

$$Peso\ unitario\ compactado = 1656,04\ kg/m^3$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo Azul

MUESTRA: GA

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$Peso\ unitario\ suelto = \frac{A - Ms}{V_s}$$

$$Peso\ unitario\ compactado = \frac{B - Mc}{V_c}$$

Masa del molde de material suelto	Ms = 1656 gr
Masa del molde de material compactado	Mc = 1656 gr
Masa del molde + Masa Arena suelta	A = 6178 gr
Masa del molde + Masa Arena compactada	B = 6759 gr
Volumen de material suelto	Vs = 2735 cm <sup>3</sup>
Volumen de material compactado	Vc = 2735 cm <sup>3</sup>

$$Peso\ unitario\ suelto = 1653,38\ kg/m^3$$

$$Peso\ unitario\ compactado = 1865,81\ kg/m^3$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: Terrazas

DESCRIPCIÓN: Arena

MUESTRA: TM

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

NORMA: ASTM C29

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{A - M_s}{V_s}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{B - M_c}{V_c}$$

Masa del molde de material suelto	$M_s = 1815 \text{ gr}$
Masa del molde de material compactado	$M_c = 1815 \text{ gr}$
Masa del molde + Masa Arena suelta	$A = 6905 \text{ gr}$
Masa del molde + Masa Arena compactada	$B = 7100 \text{ gr}$
Volumen de material suelto	$V_s = 2755 \text{ cm}^3$
Volumen de material compactado	$V_c = 2755 \text{ cm}^3$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1847.55 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1918.33 \text{ kg/m}^3$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: “Tesis evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno”

ORIGEN DE LA MUESTRA: San Antonio de Pichincha

MUESTRA: F3, F5R, F5A, G5, GR y TM

NORMA: ASTM C-40

DESCRIPCIÓN: Agregado fino

FECHA DE ENSAYO: 15-05-2017

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

**CONTENIDO ORGÁNICO DEL AGREGADO FINO**



Muestra	Color en carta de colores de impurezas orgánicas (1 a 5)
Fucusucú III	Libre de materia orgánica
Fucusucú V Polvo Azul	Libre de materia orgánica
Fucusucú V Polvo Rosado	Libre de materia orgánica
El Guabo Polvo Azul	Libre de materia orgánica
El Guabo Polvo Rosado	Libre de materia orgánica
Terrazas de Mandingo	Libre de materia orgánica

### 3.3.2 Selección del material para las dosificaciones

Tabla 21: Requisitos del material para el uso en mortero

Muestra	Granulometría	Material Fino Que Pasa el Tamiz No.200 (%)	Módulo de Finura	Color en carta de colores de impurezas orgánicas (1 a 5)
Fucusucú III	NO	7,25	3,22	Libre de Materia Orgánica
Fucusucú V Polvo Azul	SI	5,68	2,52	Libre de Materia Orgánica
Fucusucú V Polvo Rosado	SI	8,27	2,03	Libre de Materia Orgánica
El Guabo Polvo Azul	NO	8,43	3,09	Libre de Materia Orgánica
El Guabo Polvo Rosado	NO	13,49	2,25	Libre de Materia Orgánica
Terrazas de Mandingo	SI	7,44	2,68	Libre de Materia Orgánica

Fuente: (Autores, 2017).

Se realizaron las probetas de mortero para el ensayo a la compresión del material polvo azul, proveniente de la mina “Fucusucú V” al cumplir con todos los requisitos necesarios para la elaboración de un mortero fluido, al cumplir con los límites granulométricos establecidos, no sobrepasar el 10% de material que pasa el tamiz No. 200, tener un módulo de finura dentro del rango de 2,5 a 2,8 y estar libre de material orgánico.

Los prototipos de bordillos que se realizaron en los laboratorios de HOLCIM se construyeron con el material procedente de la mina “Terrazas de Mandingo” al ser el material que tenían a disposición al momento de la dosificación del mortero que igual cumple con todos los requisitos para una mezcla fluida.

### 3.4 Cálculo de Dosificaciones

En esta investigación se ensayaron diferentes dosificaciones con el material fino elegido para encontrar un mortero suficientemente fluido para su colocación en el bordillo de hormi2 y que su resistencia a la compresión sea aproximadamente 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, según el prototipo.

Algunos de los aspectos más relevantes considerados en la elaboración del mortero son:

- Granulometría: Una curva granulométrica dentro de los límites establecidos para morteros.
- Módulo de finura entre 2.5 y 2.8.
- Agregado libre de materia orgánica.
- Porcentaje de agregado fino que pasa el tamiz No. 200 mayor al 10%.
- Se utilizó cemento HOLCIM HE.

Se realizaron 4 diferentes dosificaciones, cada una con una proporción diferente de cemento y arena, para seleccionar la que más se acerque al rango solicitado de resistencia a la compresión.

De esta forma se obtuvieron las dosificaciones mostradas a continuación:

*Tabla 22: Dosificación de morteros PUCE.*

<b>Mezcla</b>	<b>Cemento (gr)</b>	<b>Arena (gr)</b>	<b>Agua (gr)</b>
M1	329,24	1040,38	199,849
M2	290,14	1131,39	208,901
M3	246,28	1222,19	185,203
M4	215,04	1203,20	178,268

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 23: Dosificación PUCE relativa al cemento.*

<b>Mezcla</b>	<b>Cemento (gr)</b>	<b>Arena (gr)</b>	<b>Agua (gr)</b>
M1	1	3,160	0,607
M2	1	3,899	0,720
M3	1	4,963	0,752
M4	1	5,595	0,829

Fuente: (Autores, 2017).

Se realizaron 9 probetas cúbicas de 50 mm de arista por cada una de las mezclas regidas a las normas ASTM C109 e INEN 488.

### 3.5 Resistencia a la compresión

*Imagen 16: Ensayo a la compresión de mortero PUCE.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 3.5.1 Pruebas realizadas en la PUCE

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión de las probetas se realizaron en el Laboratorio de la PUCE, ensayándolas a los 7, 14 y 28 días respectivamente como se muestra a continuación:

*Tabla 24: Resistencia a la compresión de mortero a los 7 días, PUCE.*

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
M1	5,12	5,09	5,19	289,78	26,05	135,23	2142,89	46,88	183,49
M2	4,98	5,06	5,13	277,76	25,22	129,47	2145,31	34,19	138,26
M3	5,07	5,35	5,13	301,25	27,09	139,01	2167,05	33,21	124,98
M4	5,13	5,11	5,15	289,76	26,21	135,03	2145,90	25,23	98,17

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 25: Resistencia a la compresión de mortero a los 14 días, PUCE.

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
M1	5,09	5,14	5,22	290,81	26,17	136,57	2129,40	66,84	260,42
M2	5,10	5,02	5,15	280,08	25,62	131,95	2122,56	48,48	192,93
M3	5,14	5,12	5,37	300,14	26,31	141,24	2125,04	44,55	172,69
M4	5,25	5,12	5,20	296,62	26,89	139,91	2120,04	36,61	138,81

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 26: Resistencia a la compresión de mortero a los 28 días, PUCE.

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
M1	5,07	5,08	5,10	296,20	25,75	131,30	2255,87	72,63	287,67
M2	5,11	5,25	5,23	297,86	26,80	140,12	2125,78	56,36	214,43
M3	5,04	5,17	5,14	286,90	26,07	134,04	2140,43	49,02	191,75
M4	5,10	5,02	5,00	280,07	25,59	127,99	2188,30	38,24	152,39

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 27: Tabla de resumen de resistencia a la compresión, PUCE.

Mezcla	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 días	14 días	28 días
M1	183,49	260,42	287,67
M2	138,26	192,93	214,43
M3	124,98	172,69	191,75
M4	98,17	138,81	152,39

Fuente: (Autores, 2017).

Las dosificaciones M2 y M3 presentaron la resistencia que más se adaptó a las solicitaciones de carga previstas para los prototipos de bordillo según la normativa (INEN S. E., 2017), por lo que se realizaron los prototipos en el laboratorio de hormigones de HOLCIM en base a estas dosificaciones, considerando el factor de mayor incidencia en la resistencia del hormigón, la relación agua-cemento.



*Imagen 17: Ensayo de compresión a mortero, PUCE.*

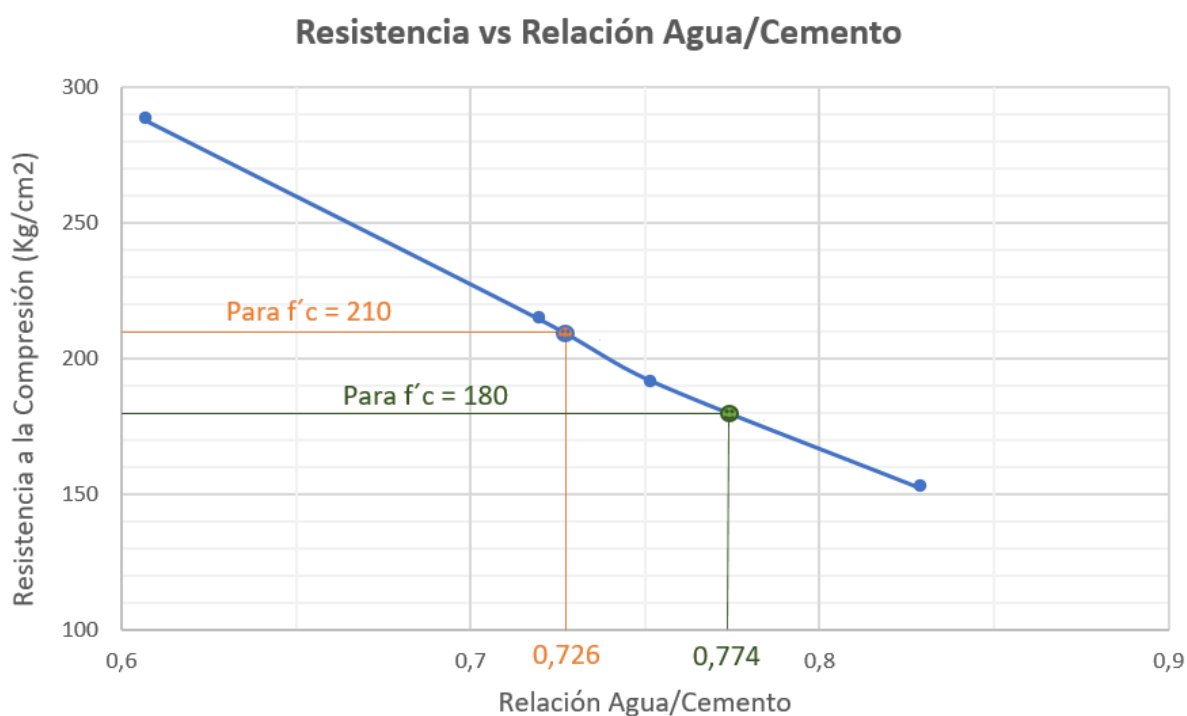


Fuente: (Autores, 2017).

### **3.5.2 Determinación de la dosificación a utilizarse**

Mediante el grafico de resistencia a la compresión del hormigón ( $\text{kg/cm}^2$ ) versus la relación agua cemento de las probetas ensayadas en los laboratorios de la PUCE, se interpolaron los valores dentro de la curva para así obtener la relación agua cemento teórica necesaria para un mortero de 210 y 180 ( $\text{kg/cm}^2$ ).

Diagrama 4: Curva resistencia a la compresión versus relación a/c



Estas relaciones (0,774 y 0,726 para morteros de 180 y 210 respectivamente) se utilizaron en los morteros utilizados en los prototipos que se realizaron en la planta de HOLCIM como se muestra a continuación.

Tabla 28: Dosificación de mortero HOLCIM por metro cúbico.

Mezcla	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (kg)
f'c 180	312,31	1623,97	241,72
f'c 210	380,37	1521,48	276,15

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 29: Dosificación de mortero HOLCIM relativa al cemento.

Mezcla	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (gr)
f'c 180	1	5,20	0,774
f'c 210	1	4,00	0,726

Fuente: (Autores, 2017).

### 3.5.3 Pruebas realizadas en HOLCIM ECUADOR S.A.

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión de las probetas se realizaron en el Laboratorio de hormigones de HOLCIM, ensayándolas a los 7, 14 y 28 días respectivamente como se muestra a continuación:

*Tabla 30: Resistencia a la compresión de mortero a los 7 días, HOLCIM.*

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
f'c 180	5.09	5.25	5.23	293.0	26.72	137.01	2138.60	37,46	142.94
f'c 180	5.06	5.13	5.12	285.0	25.98	113.11	2141.06	37,52	147.28
f'c 210	5.16	5.14	5.07	280.0	26.51	134.42	2083.08	44,28	170.32

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 31: Resistencia a la compresión de mortero a los 14 días, HOLCIM.*

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
f'c 180	5.09	5.19	5.12	294.0	26.43	135.28	2173.24	46,93	181.06
f'c 180	5.14	5.16	5.10	287.5	26.56	135.34	2124.25	46,76	186.55
f'c 210	5.09	5.10	5.16	277.5	25.97	134.08	2069.67	54,95	215.74

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 32: Resistencia a la compresión de mortero a los 28 días, HOLCIM.*

Mezcla	Dimensiones			Peso (gr)	Área de la cara ensayada (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)						
f'c 180	5.05	5.20	5.17	295.5	26.27	135.71	2177.39	49,10	190.59
f'c 180	5.08	5.18	5.18	290.0	26.33	136.31	2127.51	50,71	196.37
f'c 210	5.10	5.16	5.19	282.5	26.31	136.48	2069.98	58,59	227.09

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 33: Tabla de resumen de resistencia a la compresión, HOLCIM.*

Mezcla	Resistencia Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 días	14 días	28 días
f'c 180	142,94	181,06	190,59
f'c 180	147,25	186,55	196,37
f'c 210	170,32	215,74	227,09

Fuente: (Autores, 2017).

Esta es la resistencia a la compresión que presentaron las probetas de 5 centímetros de arista, elaboradas con el mismo mortero con los que se realizaron los prototipos elaborados en el laboratorio de hormigones de HOLCIM, usando los datos obtenidos de los ensayos en el laboratorio de hormigones de la PUCE y el material de “Terrazas de Mandingo”.

*Imagen 18: Ensayo de compresión a mortero, HOLCIM.*



9

Fuente: (Autores, 2017).

## 4 CONSTRUCCIÓN, ENSAYOS Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO

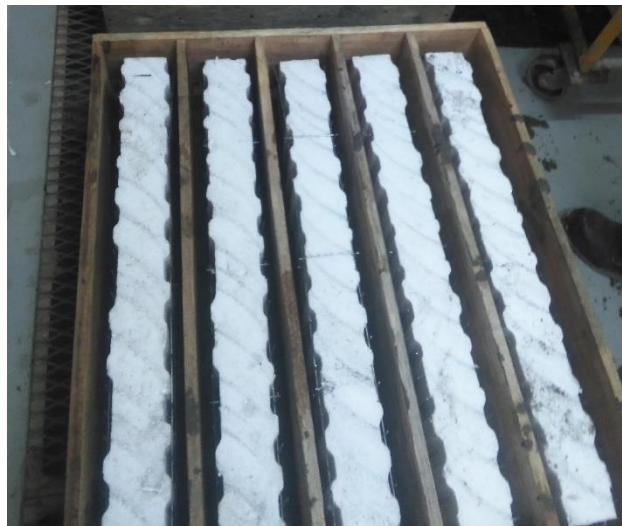
### 4.1 Costos de Materiales

#### 4.1.1 Encofrado

El encofrado es el conjunto de elementos que conforman un molde, en el cual se vierte la mezcla de hormigón para mantener la forma que éste debe adoptar hasta que se endurece y sea capaz de mantenerse por sí mismo. Puede ser temporal o permanente, para efecto de la investigación se considera como temporal debido a que se desencofró después de que el hormigón se endureció.

Los tipos de encofrados varían según el material del cual se encuentran fabricados, siendo los principales: acero, madera y plástico. Para elegir el tipo de encofrado, se deben considerar prioritariamente los siguientes aspectos: la mano de obra para el ensamble y desensamble, la cantidad de usos, el tiempo de ensamble, el acabado y el elemento a encofrar. En esta investigación se utilizó encofrado de madera debido a su fácil accesibilidad, el bajo número de usos, el costo y el acabado requerido. En caso de una producción a mayor escala se puede optar por un sistema de encofrado que se adapte mejor a las condiciones de producción como el acero o el plástico.

*Imagen 19: Encofrado de madera con 5 moldes para bordillos.*



Fuente: (Autores, 2017).

Los sistemas de encofrado de estructuras deben cumplir con especificaciones técnicas descritas en procedimientos de ensamble y manuales de instrucciones proporcionados por el fabricante del encofrado o por el ingeniero encargado en obra.

El encofrado debe diseñarse de tal manera que su procedimiento de ensamble y desensamble sea eficiente, además que el material debe quedar en buen estado para poder ser reutilizado según el número de usos para el que fue diseñado.

Entre las principales características que debe tener un encofrado tenemos las siguientes:

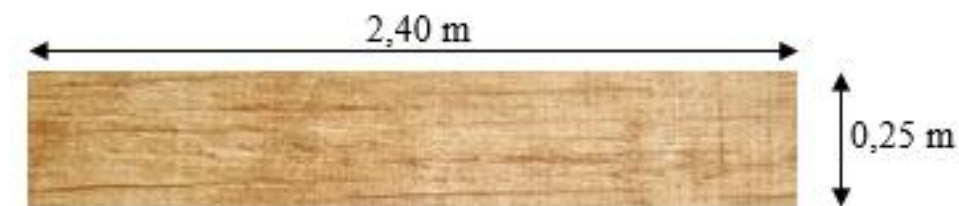
- Debe ser lo suficientemente hermético para evitar la fuga del mortero.
- Debe estar correctamente arriostrado, de tal manera que mantenga su geometría y posición.
- Debe resistir la presión del mortero fluido.
- La exactitud del dimensionamiento debe estar dentro del límite de tolerancia.

Para el encofrado de los bordillos de hormi2, se deben tomar ciertas consideraciones específicas por el sistema constructivo del mismo, principalmente se debe tener accesorios adicionales para asegurar el núcleo de poliestireno en la posición requerida, según sea su recubrimiento.

#### 4.1.1.1 Consideraciones para el ensamble del encofrado.

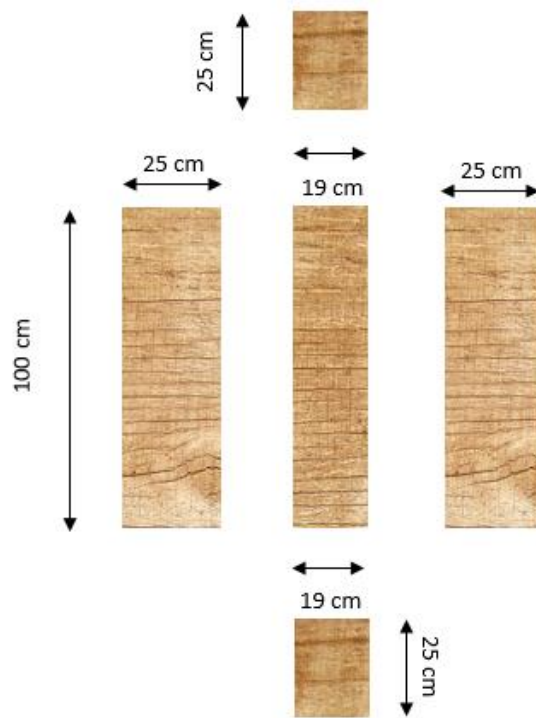
Tabla de encofrado estándar de dimensiones (2,40\*0,25) metros.

*Ilustración 7: Tabla de encofrado estándar.*



Fuente: (Autores, 2017).

*Ilustración 8: Dimensiones de los elementos del encofrado.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.1.1.2 Material empleado

Se consideraron los cortes necesarios en la tabla estándar en la fabricación del encofrado del bordillo, cuantificando el desperdicio que se obtiene en el proceso como se muestra a continuación:

*Ilustración 9: Ejemplo del cálculo de desperdicio*



- Tablas requeridas: 3
- Área de madera total: 1,80 m<sup>2</sup>
- Área de desperdicio de madera: 0,23 m<sup>2</sup>
- Porcentaje de madera de desperdicio: 12,77%

Fuente: (Autores, 2017).



Se realizó el mismo procedimiento para determinar qué corte representa el menor porcentaje de desperdicio para el cálculo de costos como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 34: Análisis de costos del material de encofrado.*

Número de encofrados	Número de tablas usadas	Área total (m <sup>2</sup> )	Área de desperdicio (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de desperdicio (%)	Costo de madera (USD)	Costo unitario (USD)
1	2	1,20	0,42	34,58	7,00	7,00
2	3	1,80	0,23	12,77	10,50	5,25
3	5	3,00	0,67	22,33	17,50	5,83
4	6	3,60	0,46	12,77	21,00	5,25

Fuente: (Autores, 2017)

Se consideró un desperdicio del 12,77 % para el cálculo del precio unitario del encofrado dado que esta fue la alternativa óptima.

#### 4.1.1.3 Alternativa con plástico de polietileno

En los prototipos realizados en la PUCE, se realizó una prueba utilizando un encofrado recubierto por un plástico negro de polietileno con 3 objetivos. Primero darle un acabado mejor al bordillo, segundo para un desencofrado con menor impacto en la madera para su reúso y tercero para evitar daños en el encofrado, producto de la absorción de humedad proveniente del mortero.

*Imagen 20: Encofrado con plástico de polietileno.*



Fuente: (Autores, 2017).



El plástico de polietileno estandar se adquiere por metro lineal en 1,50 metros de ancho y doble capa. La longitud necesaria de plástico para el recubrimiento del encofrado es de 1,50 metros pero fue asumido como 1,75 metros. Lo que nos da un costo de polietileno por bordillo de 0,35 USD considerando el costo por metro de 0,80USD. Al usar el plástico asumimos que se puede reusar el encofrado de madera hasta 5 veces antes de que el encofrado comprometa su integridad dimensional.

$$CU \text{ con plástico} = \frac{CU \text{ sin plástico} + (\text{Número de usos} * \text{costo del plástico de polietileno})}{\text{Número de usos}}$$

$$\text{Costo Unitario del encofrado con plástico} = \frac{5,25 + (5 * 0,75)}{5} = 1,80 \text{ USD/Bordillo}$$

*Tabla 35: Análisis del costo de materiales con la alternativa de polietileno.*

<b>Costo Unitario sin Plástico de Polietileno (USD/Bordillo)</b>	<b>Costo Unitario con Plástico de Polietileno (USD/Bordillo)</b>
5.25	1,80

Fuente: (Autores, 2018).

#### 4.1.2 Mortero

En el análisis del precio de los materiales del mortero por unidad de volumen, se basó en el cálculo de cada componente de las dosificaciones en peso con las que se realizaron los prototipos de los bordillos en las instalaciones de HOLCIM.

*Tabla 36: Dosificación del mortero de los bordillos.*

<b>Cantidades necesarias para 1 m³</b>			
<b>f'c (kg/cm²)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Agua (kg)</b>
180	449,74	1490,08	237,74
210	526,93	1407,92	242,69

Fuente: (Autores, 2017).

El costo de los materiales incluye transporte, pero no IVA. El costo de la arena se basa en datos obtenidos de la Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción para el material proveniente de Pomasqui, el costo del agua se extrajo de datos de la EPMAPS y el costo por saco de cemento fue provisto el personal de HOLCIM y son los siguientes:

- Arena: 13,09 (USD/m<sup>3</sup>) (CAMICON, 2017)
- Agua: 0,86 (USD/m<sup>3</sup>) (EPMAPS, 2017)
- Cemento HOLCIM HE: 7.22 (USD/Saco)

*Tabla 37: Costo por metro cúbico de mortero.*

<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Cemento (USD)</b>	<b>Arena (USD)</b>	<b>Agua (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
180	64,94	10,54	0,21	75,69
210	76,09	9,96	0,21	86,26

Fuente: (Autores, 2017).

*Imagen 21: Dosificación del mortero en el laboratorio de hormigones PUCE.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### **4.1.3 Núcleo de Poliestireno**

En el análisis del costo de cada núcleo de poliestireno, se basó en el costo de la plancha y en el tiempo de corte necesario para obtener las dimensiones requeridas, siendo el costo total de la plancha original de 71,76 USD. De la plancha obtuvimos 20 núcleos, 10 núcleos para el bordillo de 3 centímetros de recubrimiento y 10 núcleos más para el de 4 centímetros de recubrimiento. Al realizar el cálculo del costo por unidad de volumen se obtuvieron los siguientes costos para cada uno de los núcleos.

Tabla 38: Costo de núcleo de poliestireno por metro de bordillo.

Tipo de Núcleo	Costo del Núcleo (USD/Unidad)
3 centímetros de recubrimiento (19)	4,27
4 centímetros de recubrimiento (17)	2,91

Fuente: (Autores, 2017).

## 4.2 Inventario de bordillos

En el laboratorio de hormigones de la PUCE se construyeron 2 prototipos, ambos con una resistencia a la compresión de 180 kg/cm<sup>2</sup>, el primero de 3 y el segundo de 4 centímetros de recubrimiento. En las instalaciones de HOLCIM, se construyeron 17 prototipos más, reutilizando los encofrados de los prototipos de la PUCE y los 15 restantes mediante 3 encofrados múltiples de 5 unidades por caja.

Tabla 39: Inventario de los bordillos Hormi2.

Tipo de bordillo	Resistencia a compresión (Kg/cm2)	Recubrimiento (cm)	Cantidad (u)
1	180	3	6
2	180	4	6
3	210	3	3
4	210	4	4
Total			19,00

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 40: Peso de los bordillos Hormi2 construidos.

Tipo	Pesos bordillos hormi2 (Kg)						
	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
180R4	52,14	51,37	50,65	51,37	50,87	52,36	51,46
210R4	54,95	52,95	53,67	54,10			53,92
180R3	45,75	45,60	43,17	48,22	43,61	46,72	45,51
210R3	45,95	46,15	45,55				45,88

Fuente: (Autores, 2017).

*Imagen 22: Encofrado utilizado en los laboratorios de HOLCIM.*



Fuente: (Autores, 2017).

### **4.3 Costo de fabricación**

El trabajo consiste en la construcción de bordillos de hormi2, de acuerdo con las especificaciones establecidas en la respectiva normativa y las consideraciones iniciales expuestas en el punto 4.1.

#### **4.3.1 Encofrado de bordillo**

##### 4.2.1.1 Encofrado convencional

A continuación, se presenta un ejemplo del análisis de precios unitarios del encofrado convencional empleado para la construcción del bordillo.

Tabla 41: APU del encofrado convencional.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Encofrado de bordillo	Código:	4
		Unidad:	u

EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo/hora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.)					0,06
		Sub - Total (M)			0,06
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Salario/hora	Costo/hora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Carpintero (Estr.Oc D2)	1,00	3,55	3,55	0,3333	1,18
		Sub - Total (N)			1,18
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Total	
		A	B	C = A x B	
Madera encofrado bordillo (Incluye clavos)	U	1,50	3,50	5,25	
Plástico de polietileno	u	0,10	2,51	0,25	
		Sub - Total (O)			5,50
Total					6,74

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.2.1.2 Alternativa de encofrado con plástico de polietileno

Partiendo del punto 4.1.1 en el que se realizó la cuantificación de los materiales utilizados para realizar el encofrado y se analizó la alternativa con plástico de polietileno en el encofrado para reusar el mismo. Se detalla una memoria de cálculo en la cual se obtuvo el costo unitario por cada encofrado considerando los ciclos de desencofrado y re-encofrado en los 5 usos estimados que se asumieron.

Tabla 42: Memoria de cálculo del encofrado con plástico de polietileno.

Encofrado	Materiales	5,25	USD
	Salario horario carpintero	3,55	USD/hora
	Tiempo encofrado	0,33	hora
	Mano de obra	1,18	USD
	Mano de obra + materiales	6,43	USD
Desencofrado	Salario horario peón	3,51	USD/hora
	Tiempo desencofrado	0,05	hora
	MO desencofrado	<b>0,18</b>	<b>USD</b>
Re encofrado (Con Polietileno)	Salario horario carpintero	3,55	USD/hora
	Tiempo re encofrado	0,05	hora
	Mano de obra	0,18	USD
	Polietileno	0,75	USD
	MO + Polietileno	<b>0,93</b>	<b>USD</b>

Fuente: (Autores, 2017).

En este caso el costo de mano de obra necesaria para los ciclos de desencofrado y re-encofrado no se detallaron en el ítem de mano de obra, pero están incluidos en el costo de materiales.

Tabla 43: Costo unitario de encofrado con plástico de polietileno.

Usos	Encofrado (USD)	Re-encofrado (USD)	Desencofrado (USD)	Costo parcial (USD)
1	6,43		0,18	6,61
2		0,93	0,18	1,11
3		0,93	0,18	1,11
4		0,93	0,18	1,11
5		0,93	0,18	1,11
			Total	11,07
			<b>Costo Unitario (USD/Encofrado)</b>	<b>2,21</b>

Fuente: (Autores, 2017).

A continuación, se presenta un ejemplo del análisis de precios unitarios del encofrado con plástico de polietileno empleado para la construcción del bordillo.

Tabla 44: APU del encofrado con plástico de polietileno.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

				Código:	1
RUBRO:		Encofrado de bordillo con plástico		Unidad:	u
EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo/hora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.)					0,04
		Sub - Total (M)			0,04
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Salario/hora	Costo/hora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Carpintero (Estr.Oc D2)	1,00	3,55	3,55	0,1085	0,39
Peón (Estr.Oc E2)	1,00	3,51	3,51	0,1085	0,38
		Sub - Total (N)			0,77
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Total	
		A	B	C = A x B	
Madera encofrado bordillo (Incluye clavos)	U	0,20	5,25	1,05	
Plástico de polietileno	u	1,00	0,35	0,35	
		Sub - Total (O)			1,40
Total					2,21

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.2 Plancha de poliestireno

A continuación, presentamos un ejemplo del análisis de precios unitarios de la plancha de poliestireno incluido la malla electrosoldada, empleado para la construcción del bordillo. Para este caso en particular se evaluó la plancha utilizada para el bordillo de tres centímetros de recubrimiento.

Tabla 45: APU núcleo de polietileno.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		Código:	2
RUBRO:	Plancha de poliestireno 70 (Incluye malla electrosoldada)	Unidad:	u

EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo/h ora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.)					0,01
		Sub - Total (M)			0,01
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Salario/h ora	Costo/h ora	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon de Albañil (Estr. Oc E2)	1,00	3,51	3,51	0,0333	0,12
Albañil (Estr.Oc D2)	1,00	3,55	3,55	0,0333	0,12
		Sub - Total (N)			0,24
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantida d	P. Unitario	Costo Total	
		A	B	C = A x B	
Panel simple estructural de 70 (incluye malla electrosoldada)	U	1,00	2,91	2,91	
Alambre galvanizado no.14	Kg	0,26	1,41	0,37	
		Sub - Total (O)			3,28

<b>Total</b>	<b>3,53</b>
--------------	-------------

Fuente: (Autores, 2017).

Se presenta únicamente un análisis de precios unitarios (APU) para mostrar la metodología de cálculo, los demás análisis se detallan de forma completa en el Anexo 3.



### 4.3.3 Mortero

A continuación, se presenta un ejemplo del análisis de precios unitarios del mortero empleado para la construcción del bordillo. Para este caso en particular se evalúa el mortero cuya dosificación nos da una resistencia a la compresión de 180 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 46: APU mortero  $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ .

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

				Código:	3
RUBRO: Mortero F'c=180 kg/cm2				Unidad:	u
EQUIPO					
Descripción	Cantida d	Tarifa	Costo/hor a	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.)					0,05
Concretera 1 saco	1,00	3,80	3,80	0,1373	0,52
		Sub - Total (M)			0,57
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantida d	Salario/hor a	Costo/hor a	Rend. h/u	Costo Total
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón de Albañil (Estr. Oc E2)	1,00	3,51	3,51	0,1373	0,48
Albañil (Estr.Oc D2)	1,00	3,55	3,55	0,1373	0,49
		Sub - Total (N)			0,97
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Total	
		A	B	C = A x B	
Mortero f'c=180 Kg/cm2	m3	0,02	75,69	1,62	
		Sub - Total (O)			1,62
Total					3,16

Fuente: (Autores, 2017).

Se presenta únicamente un análisis de precios unitarios (APU) para mostrar la metodología de cálculo, los demás análisis se detallan de forma completa en el Anexo 3.

#### 4.3.4 Resumen de presupuestos de fabricación

Se ilustra individualmente cada uno de los 4 tipos de bordillos fabricados, se presentan los costos por unidad de bordillo fabricado a continuación:

*Tabla 47: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm)*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Encofrado de bordillo	u	1,00	2,21	2,21
Plancha de poliestireno 70 (Incluye malla electrosoldada)	u	1,00	3,53	3,53
Mortero $F'c=180 \text{ kg/cm}^2$	u	1,00	3,55	3,55
	TOTAL:			9,29

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 48: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm)*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Encofrado de bordillo	u	1,00	2,21	2,21
Plancha de poliestireno 70 (Incluye malla electrosoldada)	u	1,00	3,53	3,53
Mortero $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	u	1,00	3,83	3,83
	TOTAL:			9,57

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 49: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm)*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Encofrado de bordillo	u	1,00	2,21	2,21
Plancha de poliestireno 90 (Incluye malla electrosoldada)	u	1,00	4,89	4,89
Mortero $F'c=180 \text{ kg/cm}^2$	u	1,00	3,16	3,16
	TOTAL:			10,26

Fuente: (Autores, 2017).

*Tabla 50: Costo unitario de fabricación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm)*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Encofrado de bordillo	u	1,00	2,21	2,21
Plancha de poliestireno 90 (Incluye malla electrosoldada)	u	1,00	4,89	4,89
Mortero $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	u	1,00	3,39	3,39
	TOTAL:			10,49

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.4 Costo total y proceso de instalación

Se realizó la instalación de 10 metros de bordillo distribuidos en 4 metros de bordillos convencionales, 3 bordillos hormi2 R3 y 3 bordillos hormi2 R4. El Análisis de Precios Unitarios (APU's) fue definido en base a la cantidad de materiales, equipo y mano de obra necesarios y el cronometraje de trabajo necesario para la instalación de los bordillos.

Se ha realizado una breve síntesis de materiales, equipo y mano de obra separado en diferentes rubros detallados a continuación:

#### **4.4.1 Replanteo y nivelación**

Una vez realizado el desbroce del área de instalación donde se colocó la línea de 10 metros de bordillo se procedió a replantear la línea del eje longitudinal mediante estacas, se realizaron 3 procesos de replanteo debido a la curvatura de la entrada empedrada repartidos en cada uno de los diferentes tipos de bordillos (convencional, 180R3 y 180R4, 210R3 y 210R4). El trabajo manual fue realizado por un peón y un albañil, considerando en los costos la misma cuadrilla más un porcentaje del costo horario de un maestro mayor para fines de supervisión. El tiempo total en los tres ciclos de replanteo fue de 3 minutos.

*Imagen 23: Proceso de replanteo.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### **4.4.2 Excavación manual**

Las herramientas empleadas fueron pico, pala y carretilla para desalojar la tierra producto de la excavación de 2 zanjas contiguas, la primera de 25 centímetros de ancho, 15 centímetros de profundidad y 4 metros de longitud y la segunda de 25 centímetros de

ancho, 10 centímetros de profundidad y 6 metros de longitud. El tiempo total de este rubro fue de 42 minutos.

*Imagen 24: Excavación y desalojo de material.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### **4.4.3 Bordillo convencional, transporte e instalación.**

Conformadas las zanjas se procedió a la colocación de los bordillos, el transporte desde el sitio donde se encontraban apilados hasta el de colocación se lo realizó con una carretilla en la cual, debido al peso, solo se podía transportar un bordillo convencional a la vez. El tiempo de colocación de los 4 bordillos convencionales fue de 24 minutos.

*Imagen 25: Transporte y colocación de los bordillos convencionales.*



Fuente: (Autores, 2017).



#### 4.4.4 Bordillo Hormi2, transporte e instalación

De manera similar a la del rubro **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el transporte desde el sitio donde se encontraban apilados hasta el de colocación se lo realizó con una carretilla en la cual, debido al peso, se pudieron transportar 2 bordillos a la vez. El tiempo de colocación de los 6 bordillos de Hormi2 fue de 26 minutos.

*Imagen 26: Transporte y colocación de los bordillos de hormi2.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.4.5 Colocación de mortero en junta

La colocación de mortero entre las juntas se las realizó dejando un espacio de alrededor de 2 centímetros entre cada bordillo con una mezcla de proporción (1:3) cemento respecto a la arena y el agua suficiente para una consistencia fluida de la mezcla. El tiempo necesario para dosificar el material, colocarlo y enrazar la superficie de las 9 juntas fue de 30 minutos.

*Imagen 27: Mortero en junta.*



Fuente: (Autores, 2017).

Adicionalmente se consideraron las labores finales de limpieza del área de trabajo que tomaron 10 minutos.

*Imagen 28: Bordillos culminada su instalación.*



Fuente: (Autores, 2017).

#### **4.4.6 Resumen de presupuestos de instalación**

Se ilustra individualmente cada uno de los 4 tipos de bordillos fabricados, se presentan los costos por unidad de bordillo incluido el costo de instalación.

Tabla 51: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm).

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Replanteo y nivelación	m	1,00	0,06	0,06
Excavación de zanja a mano (para bordillo Hormi2)	u	1,00	0,44	0,44
Provisión, montaje y bordillo 180R4	u	1,00	9,85	9,85
Mortero en juntas	m3	0,00	98,15	0,07
Limpieza final	m2	0,23	0,52	0,12
	TOTAL:			10,54

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 52: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 4 cm).

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Replanteo y nivelación	m	1,00	0,06	0,06
Excavación de zanja a mano (para bordillo Hormi2)	u	1,00	0,44	0,44
Provisión, montaje y bordillo 210R4	u	1,00	10,13	10,13
Mortero en juntas	m3	0,00	98,15	0,07
Limpieza final	m2	0,23	0,52	0,12
	TOTAL:			10,82

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 53: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Replanteo y nivelación	m	1,00	0,06	0,06
Excavación de zanja a mano (para bordillo Hormi2)	u	1,00	0,44	0,44
Provisión, montaje y bordillo 180R3	u	1,00	10,82	10,82
Mortero en juntas	m3	0,00	98,15	0,07
Limpieza final	m2	0,23	0,52	0,12
	TOTAL:			11,51

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 54: Costo unitario de instalación de bordillo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , recubrimiento = 3 cm).

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Replanteo y nivelación	m	1,00	0,06	0,06
Excavación de zanja a mano (para bordillo Hormi2)	u	1,00	0,44	0,44
Provisión, montaje y bordillo 210R3	u	1,00	11,05	11,05
Mortero en juntas	m3	0,00	98,15	0,07
Limpieza final	m2	0,23	0,52	0,12
	TOTAL:			11,74

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.5 Ensayos y pruebas de resistencia al prototipo.

Según el proyecto de Norma INEN 3132 (INEN S. E., 2017), los bordillos deben cumplir con varios parámetros en diferentes ensayos, los cuales se detallan a continuación:

*Tabla 55: Número de probetas requeridas por ensayo, INEN 3132.*

Propiedad	Número de probetas
Resistencia climática	3
Resistencia a la abrasión	3
Resistencia al deslizamiento	5
Resistencia a la flexión	8

Fuente: (Autores, 2017).

Debido a la cantidad de núcleos que fueron donados por parte de Hormi2 para la presente disertación no fue posible realizar ocho probetas para cada tipo de bordillo en el ensayo a flexión por lo que se limitó a ensayar dos probetas de cada tipo de bordillo.

*Tabla 56: Número de probetas ensayadas.*

Propiedad	Tipo de Bordillo	Número de probetas
Resistencia climática	180R3 y 180R4	3
	210R3 y 210R4	3
Resistencia a la abrasión	180R3 y 180R4	3
	210R3 y 210R4	3
Resistencia al deslizamiento	180R3 y 180R4	5
	210R3 y 210R4	5
Resistencia a la flexión	180R3	2
	180R4	2
	210R3	2
	210R4	2

Fuente: (Autores, 2017).



#### 4.5.1 Resistencia climática por absorción total de agua

El ensayo consiste en determinar el índice de absorción de agua del bordillo, esto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100\%$$

Donde:

$W_a$  = Índice de absorción de agua.

$M_1$  = Masa saturada de la probeta, (kg).

$M_2$  = Masa seca de la probeta, (kg).

Las probetas se extraen de los extremos del bordillo, por medio de corte. El bordillo debe cumplir que el índice de absorción debe ser menor o igual a 6%.

##### 4.3.1.1 Procedimiento:

1. Se sumergen las probetas en agua potable a una temperatura de  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , luego se secan al horno a una temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .
2. Se debe realizar una limpieza de las probetas con un cepillo.
3. Se sumergen las probetas durante 3 días, considerando que la distancia entre probetas tiene que ser mínimo de 15 mm, y la distancia entre la superficie de agua y la probeta tiene que ser mínimo de 20 milímetros. Esto se realiza hasta que la masa  $M_1$  sea constante.
4. Se secan las probetas durante 3 días a una temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , considerando que la distancia entre probetas tiene que ser mínimo de 15 milímetros. Esto se realiza hasta que la masa  $M_2$  sea constante.

##### 4.3.1.2 Cálculos y resultados para mortero $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .

Los ensayos fueron realizados en tres probetas, de las cuales se promediaron los valores de los índices de absorción.

Probeta 1:

$M_1 = 4.13 \text{ kg}$ .

$M_2 = 3.90 \text{ kg}$ .

$$W_{a1} = \frac{4.13 \text{ kg} - 3.90 \text{ kg}}{3.90 \text{ kg}} \cdot 100\% = 5.897 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Probeta 2:

$$M_1 = 5.08 \text{ kg}.$$

$$M_2 = 4.82 \text{ kg}.$$

$$W_{a2} = \frac{5.08 \text{ kg} - 4.82 \text{ kg}}{4.82 \text{ kg}} \cdot 100\% = 5.394 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Probeta 3:

$$M_1 = 4.35 \text{ kg}.$$

$$M_2 = 4.12 \text{ kg}.$$

$$W_{a3} = \frac{4.35 \text{ kg} - 4.12 \text{ kg}}{4.12 \text{ kg}} \cdot 100\% = 5.582 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Promedio:

$$W_a = \frac{W_{a1} + W_{a2} + W_{a3}}{3} = \frac{5.897 + 5.394 + 5.582}{3} = 5.625 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Los bordillos 180R3 y 180R4 cumplen con el requerimiento de que el promedio del índice de absorción de agua de las 3 probetas sea menor o igual a 6%.

#### 4.3.1.3 Cálculos y resultados para mortero $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

Los ensayos deben ser realizados en tres probetas, de las cuales se promediarán los valores de los índices de absorción.

Probeta 1:

$$M_1 = 4,65 \text{ kg}.$$

$$M_2 = 4,42 \text{ kg}.$$

$$W_{a1} = \frac{4,65 \text{ kg} - 4,42 \text{ kg}}{4,42 \text{ kg}} \cdot 100\% = 5,204 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Probeta 2:

$$M_1 = 3,74 \text{ kg}.$$

$$M_2 = 3,57 \text{ kg.}$$

$$W_{a2} = \frac{3,74 \text{ kg} - 3,57 \text{ kg}}{3,57 \text{ kg}} \cdot 100\% = 4,762 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Probeta 3:

$$M_1 = 4,28 \text{ kg.}$$

$$M_2 = 4,07 \text{ kg.}$$

$$W_{a3} = \frac{4,28 \text{ kg} - 4,07 \text{ kg}}{4,07 \text{ kg}} \cdot 100\% = 5,160 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Promedio:

$$W_a = \frac{W_{a1} + W_{a2} + W_{a3}}{3} = \frac{5,204 + 4,762 + 5,160}{3} = 5,042 \% \leq 6\% \quad OK.$$

Los bordillos 210R3 y 210R4 cumplen con el requerimiento de que el promedio del índice de absorción de agua de las 3 probetas sea menor o igual a 6%.

#### **4.5.2 Resistencia al desgaste por abrasión mediante el ensayo de la rueda ancha**

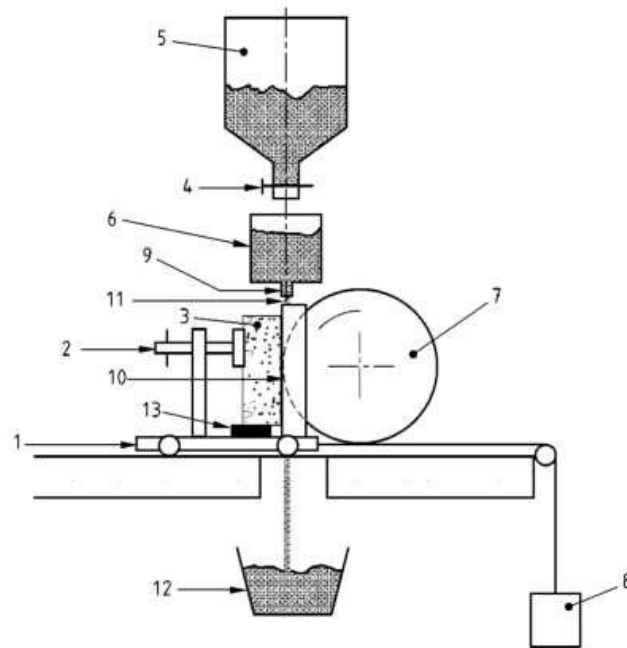
Se puede determinar la resistencia al desgaste por abrasión mediante dos ensayos; el ensayo de la rueda ancha o el ensayo de Böhme.

Los bordillos deben cumplir que, en la huella generada por la rueda ancha, la longitud de cuerda máxima sea la siguiente, en función del tipo de uso previsto:

- Zonas de tráfico intenso, 18 mm.
- Zonas de tráfico moderado, 23 mm.
- Zonas peatonales, 28mm.

En el presente trabajo se realizó el ensayo de la rueda ancha para medir la resistencia a la abrasión. El cual consiste en desgastar una cara de la probeta bajo condiciones normalizadas y medir la longitud de cuerda del arco que se forma tras ese desgaste.

*Imagen 29: Esquema de la máquina de la rueda ancha.*



Fuente: (INEN S. E., 2017).

Componentes de la máquina:

1. Carro portaprobetas.
2. Tomillo de fijación.
3. Probeta.
4. Válvula de control.
5. Tolva de almacenamiento.
6. Guía de flujo.
7. Rueda ancha de abrasión.
8. Contrapeso.
9. Ranura.
10. Huella.
11. Flujo de material abrasivo.
12. Recipiente de recogida del abrasivo.
13. Apoyo.

*Imagen 30: Probeta ensayada por resistencia a la abrasión.*

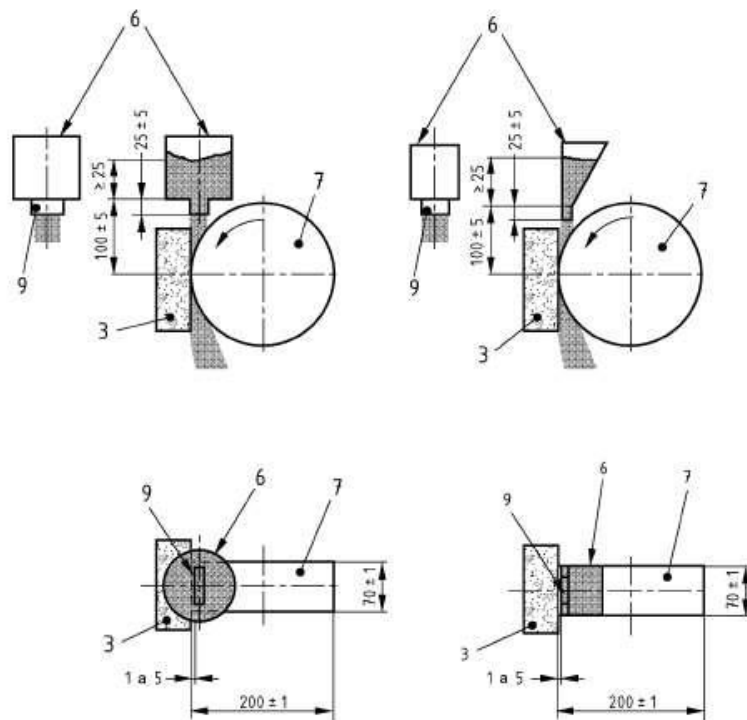


Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.2.1 Aspectos generales del ensayo:

- La rueda ancha de abrasión debe ser de acero de acuerdo con EN 10083-2, dureza de Brinell entre 203 HB y 245 HB, su diámetro debe ser de  $200 \pm 1$  milímetros, su ancho debe ser de  $70 \pm 1$  milímetros y debe girar a 75 revoluciones en  $60 \pm 3$  segundos.
- El flujo de material abrasivo desde la tolva de almacenamiento debe ser por lo menos de 2,5 litros/minuto sobre el espacio entre la rueda de abrasión y la probeta ensayada, la distancia entre el eje de la rueda y la ranura por donde proviene el flujo de material debe ser de  $100 \pm 5$  milímetros y el flujo del abrasivo debe caer entre 1 a 5 milímetros por detrás del borde de abrasión de la rueda.

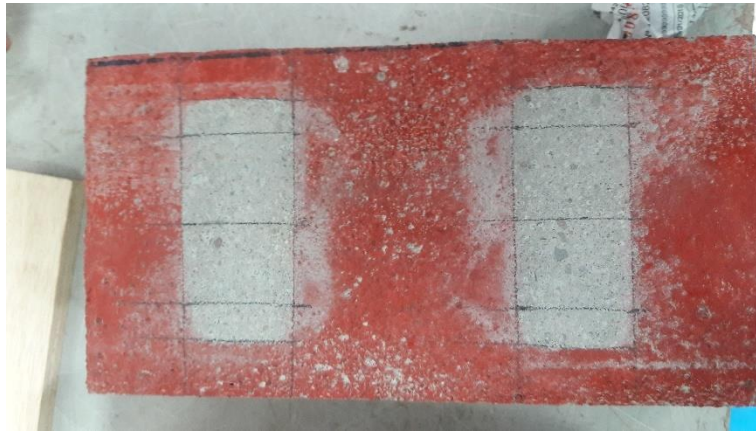
Imagen 31: Esquema del flujo de material abrasivo, rueda ancha y probeta a ensayar.



Fuente: (INEN S. E., 2017).

- La probeta ensayada debe ser de al menos 100 x 70 milímetros, con un espesor de  $60 \pm 10$  milímetros.
- Para realizar la medición de la huella, con un lápiz (diámetro de mina 0,5 mm y dureza 6H o 7H), se dibujan líneas paralelas en los extremos longitudinales de la huella, se registra la mitad de ambas líneas en la parte superior e inferior de la huella y unimos ambos puntos con una línea recta. Se mide la dimensión de la huella en la última línea con una aproximación al  $\pm 0,1$  mm más cercano.

Imagen 32: Medición de la huella en probeta.



Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.2.2 Resultados del ensayo para bordillos de $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 57: Valor de resistencia a la abrasión para bordillos  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra	Valor Medido		Valor Calibrado y Redondeado		Valor de Resistencia a la Abrasión (mm) Menor o igual a 23
	AB1 (mm)	AB2 (mm)	AB1 (mm)	AB2 (mm)	
1	23,36	23,74	24	24	24
2	22,56	22,13	23	23	23
3	22,12	22,08	23	22	23

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.2.3 Resultados del ensayo para bordillos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 58: Valor de resistencia a la abrasión para bordillos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra	Valor Medido		Valor Calibrado y Redondeado		Valor de Resistencia a la Abrasión (mm)
	AB1 (mm)	AB2 (mm)	AB1 (mm)	AB2 (mm)	
1	21,74	22,36	22	23	23
2	21,04	19,58	21	20	21
3	19,76	21,83	20	22	22

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.2.4 Comparación con el requisito de huella máxima según su uso previsto.

Tabla 59: Cumplimiento de resistencia a la abrasión de bordillos  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup>

Muestra	Valor de Resistencia a la Abrasión (mm)	Huella máxima según el tránsito (mm)		
		Peatonal 28	Moderado 23	Intenso 18
1	24	Sí	No	No
2	23	Sí	Sí	No
3	23	Sí	Sí	No

Fuente: (Autores, 2017).

Tabla 60: Cumplimiento de resistencia a la abrasión de bordillos  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Muestra	Valor de Resistencia a la Abrasión (mm)	Huella máxima según el tránsito (mm)		
		Peatonal 28	Moderado 23	Intenso 18
1	23	Sí	Sí	No
2	21	Sí	Sí	No
3	22	Sí	Sí	No

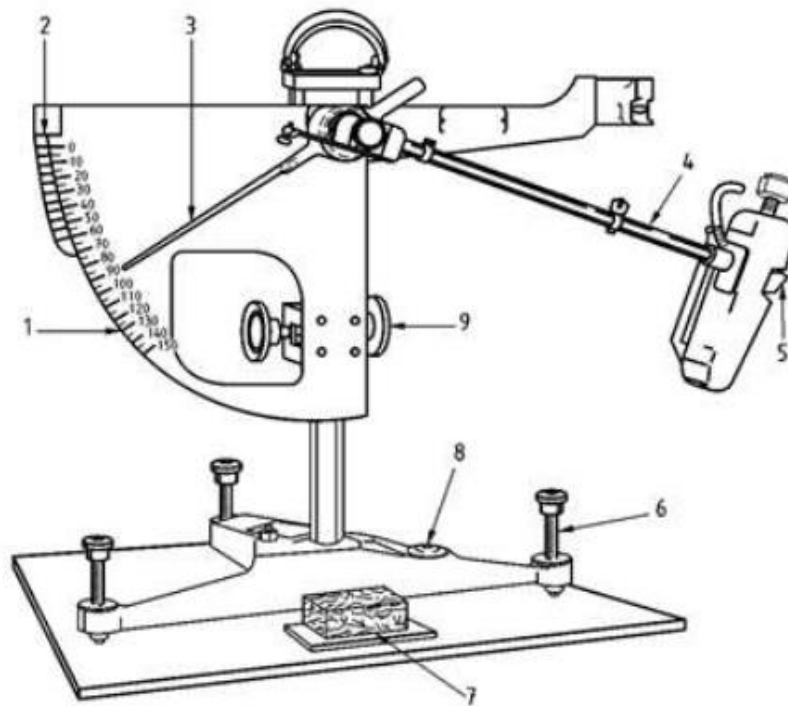
Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.5.3 Resistencia al resbalamiento o deslizamiento sin pulir (USRV)

El valor de USRV se mide mediante el ensayo del péndulo de fricción, el cual evalúa las características de rozamiento de la cara vista del bordillo. El péndulo de fricción consta de un patín con una lámina de goma normalizada fijada al final del brazo del péndulo. Al momento de la oscilación se mide la fuerza de rozamiento entre la superficie del bordillo y el patín de goma mediante la reducción de la longitud de oscilación mediante una escala calibrada.



*Imagen 33: Esquema del péndulo de fricción*



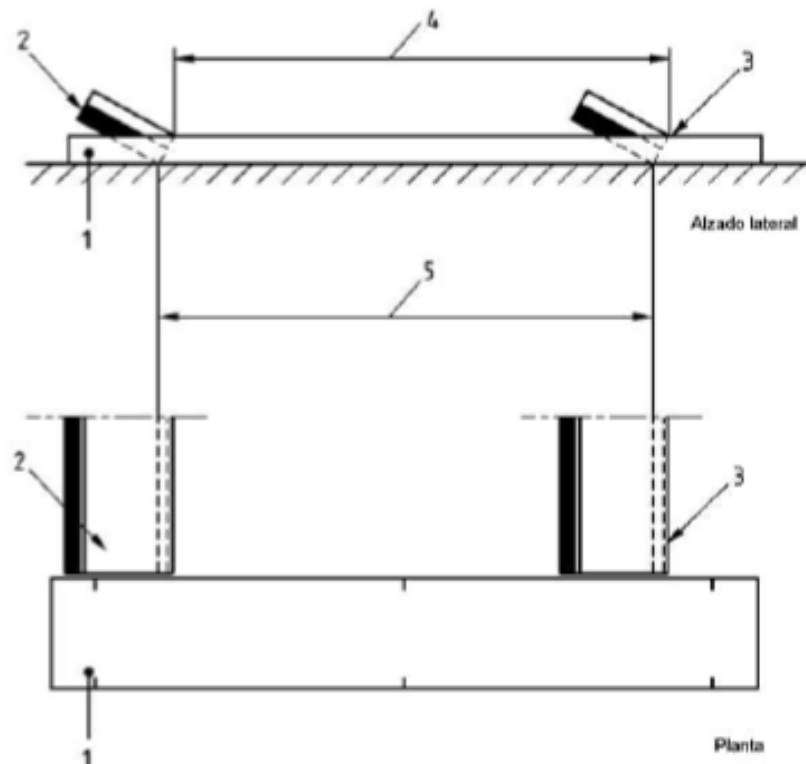
Fuente: (INEN S. E., 2017)

### **Componentes:**

- 1 Escala C (126 mm de longitud de deslizamiento)
  - 2 Escala F (76 mm de longitud de deslizamiento)
  - 3 Aguja marcadora
  - 4 Brazo del péndulo
  - 5 Patín deslizante de goma
  - 6 Tornillo de nivelación
  - 7 Soporte de la probeta
  - 8 Indicador de nivel de burbuja
  - 9 Tornillo de ajuste vertical
  - 10 Péndulo de fricción
- Patín deslizante ubicado al final del brazo del péndulo, sometido a la carga ejercida por el muelle, distante a  $(510 \pm 1)$  mm del eje de suspensión y con una lámina de goma.
  - Dispositivo para situar en posición vertical la columna soporte del equipo.
  - Base de masa suficiente para estabilizar el equipo durante el ensayo.

- Dispositivo de ajuste del eje de suspensión del brazo del péndulo de manera que el patín pueda:
  - Oscilar sin restricciones sobre la superficie del bordillo.
  - Sea regulado para recorrer una superficie sobre la medida de calibración de  $(126 \pm 1)$  mm.

*Imagen 34: Calibre de longitud de deslizamiento*



Fuente: (Autores, 2017).

Componentes:

- 1 Calibre
  - 2 Patín deslizante
  - 3 Borde de referencia
  - 4 Longitud de deslizamiento medida
  - 5 Longitud de deslizamiento real
- Dispositivo de fijación del brazo del péndulo de forma que este tenga una caída libre desde una posición horizontal.
  - Aguja marcadora, de 300 mm de longitud nominal, acoplada al eje de suspensión de manera que indique la posición más alejada de oscilación del brazo del péndulo.

- Escala circular, calibrada para 126 mm de longitud de deslizamiento sobre una superficie plana, marcada de 0 a 150 con salto de cinco unidades.

#### 4.3.3.1 Procedimiento

1. Se mantiene el equipo a una temperatura de  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  y se sumerge la probeta en agua a  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  por lo menos 30 min.
2. Se coloca sobre una superficie nivelada y rígida el péndulo de fricción de manera tal que la columna de soporte este en posición vertical, se eleva el eje de suspensión de forma que el brazo del péndulo oscile libremente y se ajusta el mecanismo de la aguja marcadora de manera que cuando ambas sean liberadas desde la posición inicial horizontal, la aguja marque la posición cero de la escala.

*Imagen 35: Calibración de la altura del eje de suspensión*



Fuente: (Autores, 2017).

3. Se coloca la probeta de manera paralela al eje de suspensión a la oscilación del péndulo, fijada rígidamente y centrada con la lámina de goma. Se ajusta el brazo del péndulo de manera que cuando se realice el movimiento en caída libre toda la lámina de goma este en contacto con la superficie del bordillo a lo largo de la longitud especificada.
4. Se deja la aguja marcadora con el péndulo desde la posición horizontal inicial sujetando el brazo del péndulo al caer de retorno. Se registran los valores marcados

por la aguja y se repite el procedimiento cinco veces, entre cada registro se moja la probeta y promediamos las últimas tres lecturas. Se repite el mismo procedimiento girando la probeta 180°.

#### 4.3.3.2 Resultados del ensayo para bordillos $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ .

Se calcula el valor del péndulo de cada probeta como el promedio de dos valores medios registrados en sentidos opuestos.

*Tabla 61: Medición de los valores de resistencia al resbalamiento para  $f'c=180\text{kg/cm}^2$*

	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5	
N°	Medida		Medida		Medida		Medida		Medida	
1	75		110		125		90		105	
2	80		110		105		100		115	
3	80	80,00	115	116,67	105	108,33	100	101,67	105	110,00
4	80		115		110		105		110	
5	80		120		110		100		115	
6	85		115		110		105		115	
7	90		115		110		100		115	
8	90	90,00	120	118,33	115	113,33	100	100,00	115	115,00
9	90		120		110		100		115	
10	90		115		115		100		115	
Media	85,00		117,50		110,83		100,83		112,50	

Fuente: (Autores, 2017).

El USRV es el promedio del valor obtenido sobre las cinco probetas, siendo este de 105,33, mayor al valor recomendado de 35.

#### 4.3.3.3 Resultados del ensayo para bordillos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

*Tabla 62: Medición de los valores de resistencia al resbalamiento para  $f'c=210\text{kg/cm}^2$*

	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
N°	Medida	Medida	Medida	Medida	Medida

1	75		110		110		110		105	
2	75		110		115		115		115	
3	75		110		120		110		105	
4	80	78,33	110	111,67	115	116,67	110	106,67	105	108,33
5	80		115		115		100		115	
6	80		115		120		100		120	
7	85		115		115		110		115	
8	85		120		115		105		115	
9	90	88,33	120	120,00	110	113,33	110	110,00	115	116,67
10	90		120		115		115		120	
<b>Media</b>	<b>83,33</b>		<b>115,83</b>		<b>115,00</b>		<b>108,33</b>		<b>112,50</b>	

Fuente: (Autores, 2017).

El USRV es el promedio del valor obtenido sobre las cinco probetas, siendo este de 107,00, mayor al valor recomendado de 35.

*Imagen 36: Ensayo al resbalamiento*



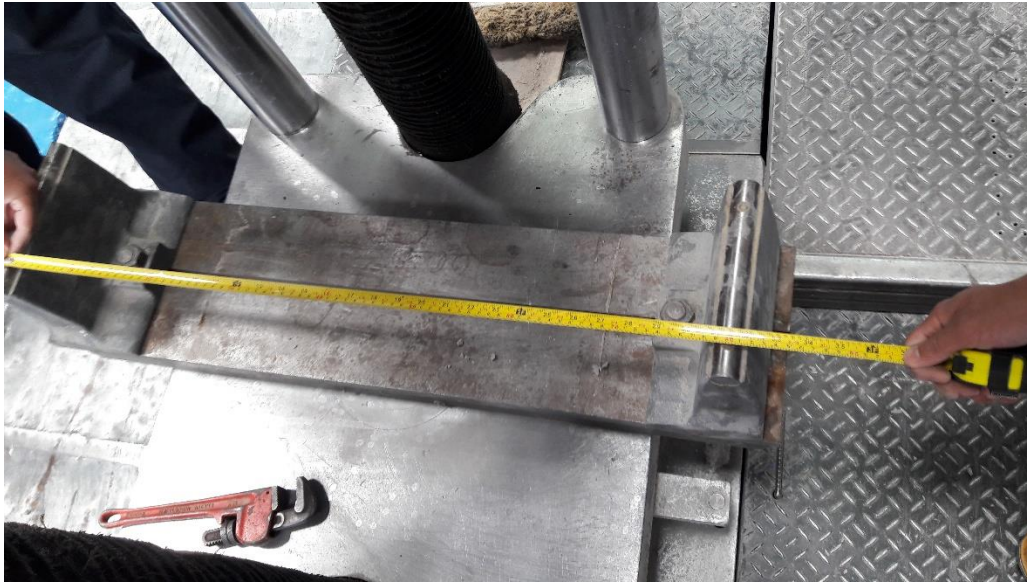
Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.5.4 Probeta a flexión

El ensayo de resistencia a flexión se realiza en bordillos enteros, a diferencia de los demás ensayos que se realizan en probetas. Para este ensayo el equipo de flexión debe inducir tres puntos de flexión sin torsión en el bordillo, por medio de dos apoyos y una carga. La carga debe ser aplicada en un disco de acero inoxidable de 40 mm de diámetro y 20 mm de espesor, el mismo que se coloca sobre una pieza de madera contrachapada

de  $(4 \pm 1)$  mm para que el disco se amolde a la forma del bordillo. Los apoyos deben ser colocados a 100 mm de distancia del extremo del bordillo.

*Imagen 37: Colocación de los apoyos para el ensayo a flexión*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.1 Procedimiento:

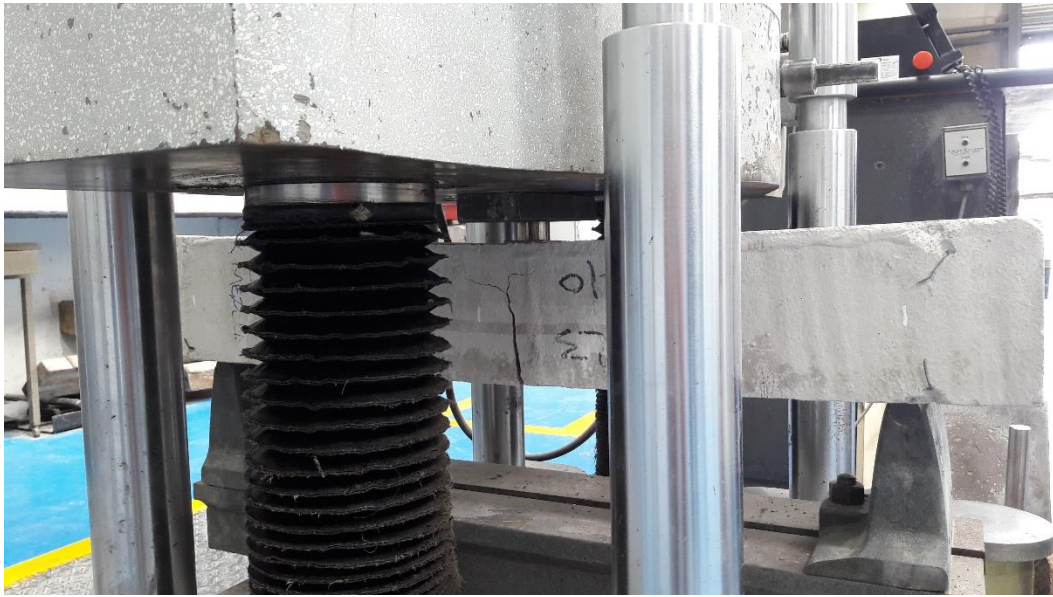
Se sumergen en agua los bordillos durante  $(24 \pm 3)$  horas a una temperatura de  $(20 \pm 5)$  °C. Inmediatamente después se secan los bordillos y se realiza el ensayo de resistencia a flexión.

El ensayo se realiza con el bordillo de tal forma que su mayor dimensión se encuentre horizontalmente. Para la condición de apoyos se debe tomar en cuenta que, si la distancia entre apoyos es menor al cuádruple de la dimensión vertical, en la posición de ensayo, la distancia de los extremos a los apoyos debe ser igual a la mitad de esta dimensión vertical, caso contrario, la distancia debe ser de 100 milímetros.

La velocidad de aplicación de la carga debe ser de  $(0.06 \pm 0.02)$  MPa/s hasta que el bordillo falle por flexión, en este punto se obtiene la carga de ruptura.



*Imagen 38: Bordillo y falla ante la carga de rotura*



Fuente: (Autores, 2017).

Del total de 8 bordillos ensayados, 6 fueron ensayados en el laboratorio de resistencia de materiales de la PUCE y 2 fueron ensayados en las instalaciones de HOLCIM.

*Imagen 39: Ensayo a flexión del bordillo, HOLCIM*



Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.2 Cálculos y resultados para bordillos tipo 210R4:

La resistencia se calcula por medio de la siguiente expresión

$$T = \frac{(P \times L \times Y)}{(4 \times I)}$$

En donde:

T: Resistencia a flexión del bordillo, MPa.

P: Carga de rotura, N.

L: distancia entre apoyos, mm.

Y: Distancia de la fibra de tensión extrema al centro de gravedad, mm.

I: momento de inercia, mm<sup>4</sup>.

Para obtener el valor de la resistencia a flexión, se deben realizar los ensayos a 8 bordillos diferentes, pero como se explicó previamente se realizaron ensayos a 3 bordillos por cada tipo.

Muestra 1:

T: 5,34 MPa.

P: 11.820 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 33.216.900 mm<sup>4</sup>.

Muestra 2:

T: 5,46 MPa.

P: 12080 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 33.216.900 mm<sup>4</sup>.



Tabla 63: Resistencia a la flexión 210R4

<b>f'c (kg/cm2)</b>	<b>Recubrimiento (cm)</b>	<b>Carga de rotura (N)</b>	<b>Momento de Inercia (I) mm4</b>	<b>T (Resistencia a Flexión) MPa</b>	
210	4	11820	33216900	5,338	<b>5,3965</b>
210	4	12080	33216900	5,455	

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.3 Cálculos y resultados para bordillos tipo 180R4:

Muestra 1:

T: 5,24 MPa.

P: 11.610 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 33.216.900 mm4.

Muestra 2:

T: 5,21 MPa.

P: 11.530 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 33.216.900 mm4.

Tabla 64: Resistencia a la flexión 180R4

<b>f'c (kg/cm2)</b>	<b>Recubrimiento (cm)</b>	<b>Carga de rotura (N)</b>	<b>Momento de Inercia (I) mm4</b>	<b>T (Resistencia a Flexión) MPa</b>	
180	4	11610	33216900	5,243	<b>5,225</b>
180	4	11530	33216900	5,207	

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.4 Cálculos y resultados para bordillos tipo 210R3:

Muestra 1:

T: 5,80 MPa.

P: 11.600 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 30.009.500 mm<sup>4</sup>.

Muestra 2:

T: 5,82 MPa.

P: 11.640 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 30.009.500 mm<sup>4</sup>.

*Tabla 65: Resistencia a la flexión 210R3*

<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Recubrimiento (cm)</b>	<b>Carga de rotura (N)</b>	<b>Momento de Inercia (I) mm<sup>4</sup></b>	<b>T (Resistencia a Flexión) MPa</b>	
210	3	11600	30009500	5,798	<b>5,808</b>
210	3	11640	30009500	5,818	

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.5 Cálculos y resultados para bordillos tipo 180R3:

Muestra 1:

T: 5,06 MPa.

P: 10.120 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 30.009.500 mm<sup>4</sup>.

Muestra 2:

T: 5,02 MPa.

P: 10.040 N.

L: 800 mm.

Y: 75 mm.

I: 30.009.500 mm<sup>4</sup>.

*Tabla 66: Resistencia a la flexión 180R3*

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Recubrimiento (cm)	Carga de rotura (N)	Momento de Inercia (I) mm <sup>4</sup>	T (Resistencia a Flexión) MPa	
180	3	10120	30009500	5,058	<b>5,038</b>
180	3	10040	30009500	5,018	

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.6 Resumen de resultados de resistencia a flexión

Se comparo el promedio de la resistencia obtenida en los ensayos a flexión con la resistencia estipulada en la normativa INEN 3132 (INEN S. E., 2017) para las sollicitaciones de los bordillos en base a su uso y estos fueron los resultados:

*Tabla 67: Resistencia a la flexión ensayada según normativa*

Bordillo Tipo	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia Característica		
		Uso peatonal, residencial y comercial (3,5 Mpa)	Uso Industrial (5 Mpa)	Obras Especiales (6 Mpa)
<b>180R3</b>	<b>5,038</b>	Sí	Sí	No
<b>180R4</b>	<b>5,225</b>	Sí	Sí	No
<b>210R3</b>	<b>5,808</b>	Sí	Sí	No
<b>210R4</b>	<b>5,397</b>	Sí	Sí	No

Fuente: (Autores, 2017).

#### 4.3.4.7 Imperfecciones en el proceso constructivo de los bordillos hormi2.

En el proceso de los ensayos a flexión una vez que se alcanzo la falla en los bordillos se pudo apreciar ligeras desviaciones e imperfecciones con respecto a la posición original

del núcleo de poliestireno debido al efecto del empuje generado por el mortero fluido sobre el mismo.

*Imagen 40: Imperfecciones en la posición del núcleo de poliestireno*



Fuente: (Autores, 2017).

Se puede apreciar una disminución en el espesor de la capa de mortero en la zona de mortero A, donde se tiene un espesor de 2,5 cm en lugar de 3 cm como las capas perpendiculares al mismo.

## 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta de forma resumida las características principales del bordillo Hormi2 y se compara con el sistema tradicional de bordillos macizos de hormigón.

### 5.1 Rendimientos

Los rendimientos que se presentan han sido obtenidos en los trabajos realizados para la construcción de los bordillos separados en la elaboración y en la instalación de estos.

#### 5.1.1 Rendimientos en la elaboración de los bordillos

*Tabla 68: Rendimiento de cada rubro en la elaboración de bordillos*

Rubro	Cuadrilla	Rendimiento (Unidad/Hora)	
Encofrado de bordillo	1 <sup>a</sup> + 1P + 0.1M	9,22	u/h
Plancha de poliestireno 90 (Incluye malla electrosoldada)	1 <sup>a</sup> + 1P + 0.1M	30,03	u/h
Mortero F'c=180 kg/cm <sup>2</sup>	1 <sup>a</sup> + 1P + 0.1M	7,28	u/h

Fuente: (Autores, 2017).

#### 5.1.2 Rendimientos en la instalación de los bordillos

*Tabla 69: Rendimiento de cada rubro en la instalación de bordillos*

Rubro	Cuadrilla	Rendimientos (Unidad/Hora)	
Replanteo y Nivelación	1P + 1A + 0,1M	200,00	m/h
Excavación Manual B. convencional	1P + 1A + 0,1M	12,00	m/h
Excavación Manual B. hormi2	1P + 1A + 0,1M	18,00	m/h
Transporte e instalación del Bordillo Convencional	1P + 1A + 0,1M	10,00	u/h
Transporte e instalación del Bordillo Hormi2	1P + 1A + 0,1M	13,95	u/h
Mortero en junta (1:3)	1P + 1A + 0,1M	18,00	u/h
Limpieza Final	1P + 1A + 0,1M	15,00	m <sup>2</sup> /h

Fuente: (Autores, 2017).

Comparando el rendimiento medido en la excavación manual del bordillo convencional y hormi2, se puede apreciar un incremento en la cantidad de metros excavados por hora en el sistema hormi2, debido a la dimensión de la zanja. En el caso del bordillo convencional se realizan 12 metros de excavación por hora y en el bordillo hormi2 18 metros por hora.

En el rubro de transporte y montaje de los bordillos sucede algo similar, en el sistema convencional se tiene un rendimiento de 10 bordillos por hora y en el sistema hormi2 de 13,95. Esto se debe a que el transporte de los bordillos de hormi2 es menos exigente para el personal debido a su peso, muy inferior al del bordillo convencional y por lo tanto más rápido.

## 5.2 Costos de fabricación de ambos sistemas

Resultado del análisis realizado en el capítulo anterior se obtuvo mediante el análisis de precios unitarios (APU's) el costo en la fabricación de los diferentes tipos de bordillos hormi2 que se contemplaron en la realización del presente trabajo. Separamos el análisis en las dos etapas especificadas en la construcción del prototipo, fabricación e instalación.

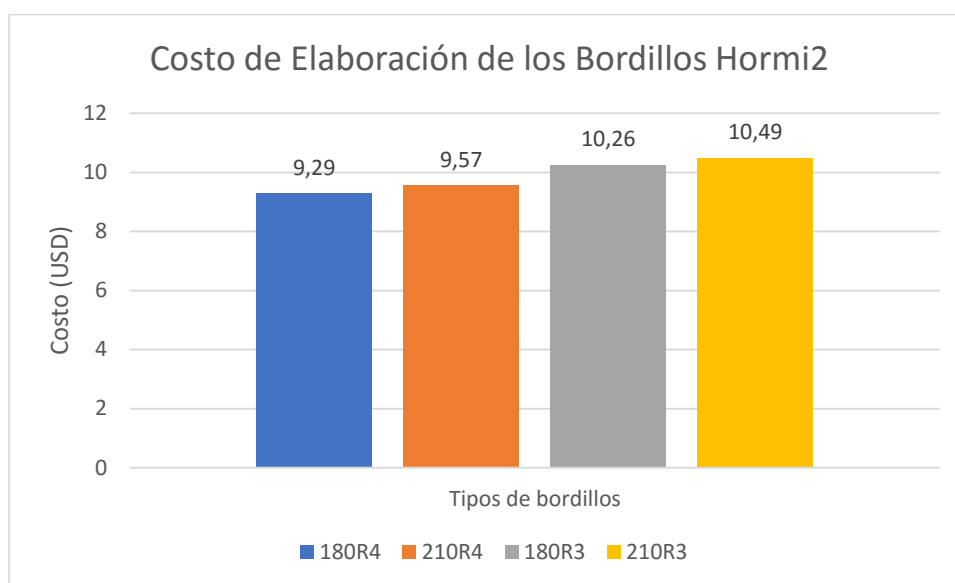
*Tabla 70: Costo de fabricación por unidad de bordillo*

<b>Tipo de Bordillo</b>	<b>Costo de Fabricación (USD/Bordillo)</b>
180R3	10,26
180R4	9,29
210R3	10,49
210R4	9,57
Promedio	9.90

Fuente: (Autores, 2017).

La diferencia en el costo de elaboración de los diferentes tipos de bordillo hormi2 se debe a 2 factores principalmente, el primero es el volumen del núcleo de poliestireno, el cual es mayor en los bordillos R3 por lo que su costo es mayor. El segundo factor es la dosificación utilizada en cada uno, el costo por metro cubico es mayor en los bordillos con resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> por lo que el costo del bordillo también se eleva. La diferencia en costo entre el bordillo más barato de fabricar (180R4) y el más caro (201R3) es del 12,92%, un valor relativamente bajo.

Diagrama 5: Costo de elaboración de los bordillos Hormi2



Fuente: (Autores, 2017).

En el caso del sistema convencional, no se realizó la fabricación por lo que el cálculo está basado en cotizaciones de los distribuidores encontrados en el DMQ.

Tabla 71: Cotizaciones por unidad de bordillo (15\*30\*100)

Proveedor	Costo Unitario (USD/Bordillo)
Hormipisos	11,58
Revista de la Cámara de la Construcción	10,42
Ecuablock*	7,50
Tensoblock	10,83
Concreblock	8,40
Rokada	8,33
<b>Promedio</b>	<b>9,51</b>

Fuente: (Autores, 2017).

Al promediar el costo de los diferentes tipos de bordillo hormi2 obtenemos un valor medio de 9,90 USD/Bordillo. Este valor es un 4,10 % más del promedio de los bordillos convencionales, de 9,51 USD/Bordillo.

### 5.3 Costos de instalación de ambos sistemas

El costo de instalación de los bordillos de hormi2 es de 1,25 USD, este valor se calculó mediante el análisis de precios unitarios (APU's). a continuación, se muestra el costo unitario de cada uno de los tipos de bordillo de hormi2.

*Tabla 72: Costo unitario de bordillos Hormi2*

<b>Tipo de Bordillo</b>	<b>Costo de Fabricación (USD/Bordillo)</b>	<b>Costo de Instalación (USD/Bordillo)</b>	<b>Costo Total Unitario (USD/Bordillo)</b>
180R4	9,29	1,25	10,54
210R4	9,57	1,25	10,82
180R3	10,26	1,25	11,51
210R3	10,49	1,25	11,74
<b>Promedio</b>	<b>9,90</b>	<b>1,25</b>	<b>11,15</b>

Fuente: (Autores, 2017).

El costo de instalación de los bordillos convencionales es de 1,69 USD/Bordillo, valor calculado mediante el análisis de precios unitarios APU's, a continuación, se muestra los valores proyectados asumiendo un mismo valor de instalación debido a que comparten las misma dimensiones y pesos similares.

*Tabla 73: Costo unitario de bordillos convencionales*

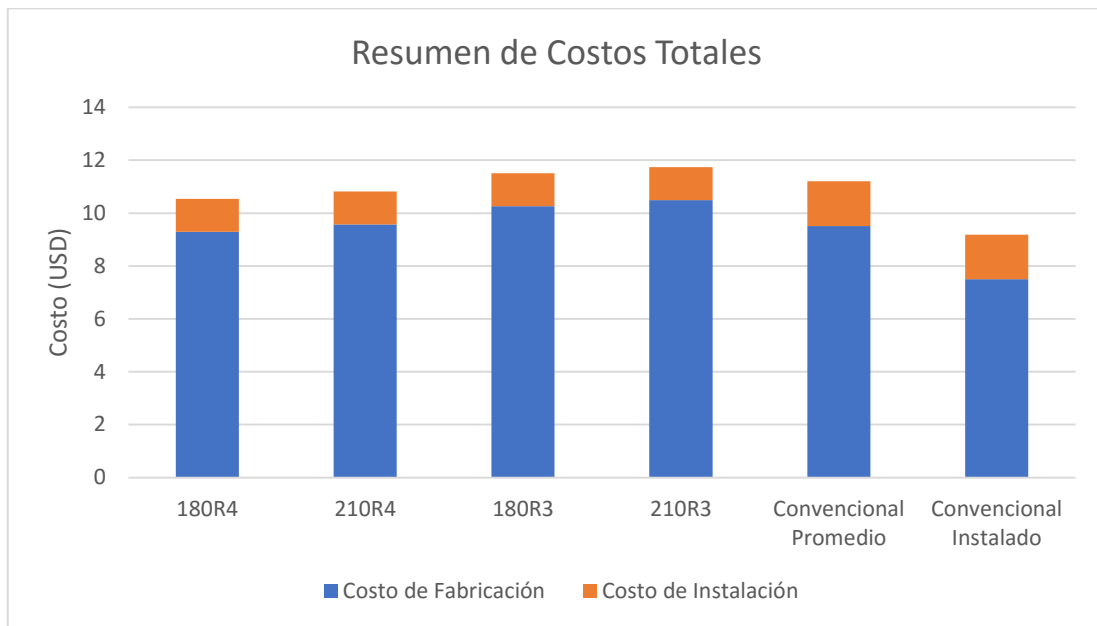
<b>Proveedor</b>	<b>Costo Unitario (USD/Bordillos)</b>	<b>C. Instalación (USD/Bordillo)</b>	<b>C. Unitario (USD/Bordillo)</b>
Hormi Pisos	11,58	1,69	13,27
Revista de la Camara de la Construcción	10,42	1,69	12,11
Ecuablock*	7,50	1,69	9,19
Tensoblock	10,83	1,69	12,52
Concreblock	8,40	1,69	10,09
Rokada	8,33	1,69	10,02
<b>Promedio</b>	<b>9,51</b>	<b>1,69</b>	<b>11,20</b>

Fuente: (Autores, 2017).

El costo promedio total de los bordillos de hormi2 es de 11,15 USD/Bordillo, 0,45% más barato que el de los bordillos convencionales, cuyo valor total promedio es de 11,20 USD/Bordillo.



Diagrama 6: Comparación de costos Hormi2 vs Convencionales



Fuente: (Autores, 2017).

El costo total del bordillo de hormi2 más barato (180R4) es 10,54 USD/Bordillo, 14,69% más caro que el bordillo convencional instalado que es el de menor costo (Ecuablock), cuyo valor total es de 9,19 USD/Bordillo.

## 5.4 Flexión

A continuación, se detalla el proceso de cálculo del esfuerzo último que soportara el bordillo basándonos en los datos obtenidos en el capítulo 3 donde se realizó el diseño a flexión, tomando como referencia el cálculo para el bordillo 180R3 partiendo del momento último teórico del concreto.

$$M = \frac{\delta * I_c}{\frac{h}{2}}$$

$$\delta = \frac{M * \frac{h}{2}}{I_c} = \frac{32000 \text{ Kg.cm} * \frac{15 \text{ cm}}{2}}{3000,95 \text{ cm}^4}$$

$$\delta = 79,97 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Factor de conversión de } \frac{Kg}{cm^2} \text{ a MPa} = 10,197$$

$$\delta = \frac{79,97 \frac{Kg}{cm^2}}{10.197}$$

$$\delta = 7,8428 \text{ MPa}$$

En donde:

$M_c$  = Momento último, Kg. cm.

$\delta$  = Esfuerzo último, Kg/cm<sup>2</sup>

$h$  = Altura, cm.

$I_c$  = Inercia, cm<sup>4</sup>.

Se realizó el mismo cálculo para los otros tipos de bordillo, obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 74: Esfuerzo último teórico de los bordillos*

Tipo de bordillo	Esfuerzo Último (MPa)
180R4	7,9713
210R4	9,2998
180R3	7,8428
210R3	9,0304

Fuente: (Autores, 2017).

Se compararon los valores teóricos de resistencia con los reales para cada tipo de bordillo obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 75: Valores de resistencia teórica vs real*

Tipo de bordillo	Esfuerzo Último (MPa)	Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia teórica vs Resistencia real (%)
180R4	7,9713	5,2250	65,5477
210R4	9,2998	5,3965	58,0281
180R3	7,8428	5,0380	64,2373
210R3	9,0304	5,8080	64,3161

Fuente: (Autores, 2017).

Los bordillos presentaron un porcentaje de resistencia promedio de 63,03 % en relación con su resistencia teórica esperada.

## 5.5 Transporte

El cálculo de transporte se realizó en base a las características de un camión con plataforma tipo las cuales se muestran a continuación:

*Tabla 76: Características de camión con plataforma tipo*

Camión Plataforma Tipo	
Largo (m)	6,5
Ancho (m)	2,5
Altura (m)	1,5
Capacidad (t)	12

Fuente: (Autores, 2017).

En base a la capacidad volumétrica máxima del camión plataforma se calculó el número de bordillos que pueden ser transportados según las dimensiones de cada uno, A demás se realizó el cálculo por capacidad de carga máxima según el peso de cada bordillo.

*Tabla 77: Determinación de la capacidad volumétrica y de carga máxima*

Tipo de Bordillo	Peso de los bordillos (kg)	Número de bordillos transportables por capacidad volumétrica	Número de bordillos transportables por capacidad de carga
Convencional	100	400	120
Hormi2 R3	45,8625	480	262
Hormi2 R4	52,8525	480	227

Fuente: (Autores, 2017).

El factor considerado crítico es la capacidad por carga de la plataforma, 12 toneladas, por lo que se basó el cálculo en el número de bordillos transportables por este criterio, de manera referencial al bordillo convencional. Consecuentemente los valores calculados son presentados en porcentaje siendo el costo de transporte de un bordillo convencional la referencia unitaria.

*Tabla 78: Costo de transporte referencial de bordillos*

Tipo de Bordillo	Costo de transporte referencial (%)
Convencional	100,00
Hormi2 R3	45,80
Hormi2 R4	52,86

Fuente: (Autores, 2017).

## 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La alternativa de encofrado recubierto con plástico de polietileno presentó un ahorro en materiales de 3,45 USD por unidad debido a que aporta en un desencofrado menos exigente para la madera y la protege de absorber humedad proveniente del mortero con lo que se asegura su integridad para reusarla nuevamente, además de darle un mejor acabado al bordillo.

La resistencia climática por absorción de agua en las probetas de mortero  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup>, presentaron un valor promedio de 5,625 %. Mientras que en las probetas de mortero  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, presentaron un valor promedio de 5,042 %. Ambas cumplen con el índice de absorción de agua estipulado en la normativa INEN 3132 al ser menor al 6%.

En el ensayo de resistencia a la abrasión, por el método de la rueda ancha:

- Las probetas  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup>:
  - Las 3 probetas cumplen al presentar una huella menor a 28 mm para tránsito peatonal.
  - 2 de las 3 probetas cumplen al tener una huella menor a 23 mm para tránsito moderado.
  - Las 3 probetas no cumplen al presentar una huella mayor a 18 mm para tránsito intenso.
- Las probetas de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>:
  - Las 3 probetas cumplen al presentar una huella menor a 28 mm para tránsito peatonal.
  - Las 3 probetas cumplen al presentar una huella menor a 23 mm para tránsito moderado.
  - Las 3 probetas no cumplen al presentar una huella mayor a 18 mm para tránsito intenso.
- Se recomienda, en caso de ser necesario, aumentar la resistencia a la abrasión de los bordillos cuando estos sean solicitados para cargas de tráfico intenso, buscar un material granular fino cuya gradación permita una mayor cohesión entre partículas con el fin de incrementar y cumplir con el parámetro de abrasión establecida para tráfico intenso. Los

bordillos cumplen con el parámetro de abrasión para tránsito moderado de manera parcial para los bordillos  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup> y de manera total pero cerca del límite para los  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> según los parámetros de la normativa española UNE 127025.

La medida de resistencia al resbalamiento o deslizamiento USRV es satisfactoria según los parámetros de la normativa española UNE 127025 para las probetas de  $f'c$  180 kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> al presentar valores de 105,33 y 107,00 respectivamente. Al ser mayores a 35 e incluso 40, para superficies con pendiente.

La resistencia a la flexión promedio de los 4 tipos de bordillos hormi<sup>2</sup> cumplen satisfactoriamente la medida de 3,5 MPa para uso peatonal y 5 MPa para uso industrial.

- Para el bordillo 180R3 la resistencia a la flexión  $T = 5,038$  MPa.
- Para el bordillo 180R4 la resistencia a la flexión  $T = 5,225$  MPa.
- Para el bordillo 210R3 la resistencia a la flexión  $T = 5,808$  MPa.
- Para el bordillo 180R3 la resistencia a la flexión  $T = 5,397$  MPa.

Únicamente no cumplen con la resistencia a flexión requerida de 6 MPa para obras especiales.

En el cálculo de la resistencia a la flexión realizado, se estimó que la resistencia última se encontrará en el rango de 7,8 a 9,3 MPa. La resistencia real obtenida en los ensayos muestra que se alcanzó un porcentaje de aproximadamente el 65 % de esta resistencia. Se concluye que esto, en cierto grado, se debe a las propiedades geométricas del núcleo de poliestireno que, al presentar ondulaciones con una amplitud de aproximadamente 1 centímetro, deja a la capa mortero con espacios de  $\pm 0,5$  cm en los valles y crestas de las ondulaciones respectivamente. También se debe a ligeras desviaciones del núcleo respecto a su posición original consecuencia del empuje que genera, por la diferencia marcada de densidades entre el mortero fluido y el poliestireno, al momento de la fundición de los bordillos hormi<sup>2</sup>. Se recomienda mejorar los procesos de anclaje del núcleo en el encofrado para que conserve su posición original y utilizar

núcleos rectangulares prismáticos sin ondulaciones para aumentar la resistencia real y posiblemente alcanzar la resistencia necesaria para su uso en obras especiales.

El costo promedio de fabricación de los bordillos de hormi2 es de 9,90 USD/Bordillo, 0,39 USD más que el de los convencionales, 9,51 USD/Bordillo. Los rendimientos medidos en ciertos rubros muestran un aumento en la productividad de instalación de los bordillos de hormi2, en el caso de la excavación manual para el bordillo hormi2 se tiene un rendimiento de 18 m/h y en la del bordillo convencional de 12 m/h. En el caso del transporte y colocación de los bordillos de hormi2 es de 13,95 u/h mientras que el del bordillo convencional es de 10 u/h. Esto se refleja en un menor costo de instalación de los bordillos hormi2, 1,25 USD/Bordillo en comparación con el costo de 1,69 USD/Bordillo de los convencionales. El costo promedio total de los bordillos de hormi2 es de 11,15 USD/Bordillo, 0,05 USD menos que el costo promedio total de los bordillos convencionales. Se concluye que a pesar de que el costo de fabricación del bordillo hormi2 es mayor, compensa con una reducción en el costo de instalación debido principalmente a su peso.

La proyección del costo unitario de transporte de los bordillos se lo realizó en base a una plataforma tipo, en la cual se verifico que, en el transporte de todos los tipos de bordillos, el camión se ve limitado por su capacidad de carga, mas no por su capacidad volumétrica. Consecuentemente el costo unitario de transporte será directamente proporcional al peso de los bordillos, siendo mayor el de los convencionales. Asumiendo que el costo de transporte del bordillo convencional es 100 %, se calculó que el costo de transporte para los bordillos R3 será el 45,86 % y los R4 serán el 52,85% del costo que tendría un bordillo convencional. Se concluye que esto disminuirá el costo total de los bordillos hormi2 en contraste a los convencionales.

Se cumplieron los objetivos específicos planteados al inicio del presente trabajo de disertación al recopilar información sobre el mercado, costos, propiedades físicas y propiedades mecánicas de los bordillos prefabricados de hormigón utilizados en las obras del DMQ. Analizados estos datos en contraste con el sistema hormi2, se concluye que sí es factible la implementación de los bordillos hormi2 al cumplir satisfactoriamente con todas las exigencias normativas tanto nacionales como internacionales. A demás de tener un costo total por unidad de bordillo similar a lo que se encuentra en el mercado actual.



## Bibliografía

- ABENOR. (Abril de 2001). Comentarios a la Norma Española UNE 127025 de Octubre de 1999. *Bordillos Prefabricados de Hormigón*. España.
- AENOR. (2011). *Cemento: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*.
- ARQHYS. (2017). *www.arqhys.com*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/construccion/morteros-construccion.html>
- ASTM, A. S. (2011). *Standard Specification for aggregate for masonry mortar*.
- ASTM, A. S. (2011). *Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar C144-11*.
- CAMICON, C. d. (2017). Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción. *Construcción*, 50.
- Comite Europeo de Normalización, C. (2003). *Bordillos prefabricados de hormigón*.
- EMMEDUE, A. B. (2012). *mdue*. Obtenido de mdue: <http://www.mdue.it/>
- EPMAPS. (13 de Diciembre de 2017). *Aguaquito*. Obtenido de <https://www.aguaquito.gob.ec/>: <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- González, J. (Marzo de 2016). Estudio del Mortero de pega usado en el cantón Cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones del cal. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Hormi2. (7 de Mayo de 2013). Qué es hormi2. Quito , Pichincha, Ecuador.
- HORMI2©. (2016). *hormi2*. Recuperado el 28 de 08 de 2016, de hormi2: <http://hormi2.com/>
- INEN, I. E. (2001). *NTE 872:2011*. Quito.
- INEN, S. E. (2017). *Proyecto NTE INEN 3132, Bordillos Prefabricados de Hormigón. Requisitos y Métodos de ensayo*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INSHT, I. N. (14 de Abril de 1997). *Insht*. Obtenido de <http://www.insht.es/MusculoEsqueleticos/Contenidos/Formacion%20divulgacion/material%20didactico/GuiatecnicaMMC.pdf>
- INSHT, I. N. (1998). *Levantamiento manual de cargas: Ecuación del NIOSH*. Madrid.



- Maldonado, J. (2010). *Factibilidad del uso del sistema constructivo M-2 aplicado en viviendas en la ciudad de Loja*. Disertación de Pregrado, UTPL, Loja. Recuperado el 29 de 08 de 2016
- MTOP. (2013). *Manual de Control de Calidad en la Construcción de las Obras de Infraestructura del Transporte*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- MTOP, M. d. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Orozco Bolaños, A. M., & Puente Gallegos, A. R. (2016). EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL SISTEMA PORTANTE HORMI2 DE. *EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL SISTEMA PORTANTE HORMI2 DE*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- PANECONS. (2016). *Manual Práctico del Constructor*. Latacunga.
- Rosado, J. C., & Cevallos, C. G. (2015). *ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE CAMINERAS Y SU INFLUENCIA EN LOS SERVICIOS QUE BRINDA LA BIBLIOTECA CENTRAL A LA COMUNIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. CASO PARTICULAR BORDILLOS*. Recuperado el 16 de 03 de 2017, de repositorio.utm.ec: <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/615/1/ESTUDIO%20PARA%20EL%20DISENO%20DE%20CAMINERAS%20Y%20SU%20INFLUENCIA.pdf>
- Transporte, S. d. (2013). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* (Vol. N°3). Quito, Pichincha, Ecuador.

## Anexos